

REGIONE SICILIANA

ASSESSORATO DELLE INFRASTRUTTURE E DELLA MOBILITA'
DIPARTIMENTO DELLE INFRASTRUTTURE DELLA MOBILITA' E DEI TRASPORTI

ISOLA DI SALINA (MESSINA)

COMUNE DI MALFA

LAVORI DI RIQUALIFICA E DI ADEGUAMENTO
DELLE OPERE FORANEE, DELLE BANCHINE, DELLO SCALO DI
ALAGGIO E DEI FONDALI DELL' APPRODO DI SCALO GALERA

Progetto Definitivo:

Approvato in linea tecnica in Conferenza Speciale di Servizi Ufficio del Genio Civile di Messina in data 21.07.2004

Progetto Esecutivo 1° stralcio funzionale:

Approvato in linea tecnica in Conferenza Speciale di Servizi del Genio Civile di Messina in data 20.12.2006 dell'importo complessivo di € 4.800.000,00

Progetto Esecutivo 1° stralcio di completamento:

A seguito di rescissione contrattuale ed approvazione Perizia di riparazione danni di forza maggiore di variante in diminuzione in Conferenza Speciale di Servizi del Genio Civile di Messina in data 07 marzo-26 marzo 2013 dell'importo complessivo di € 1.612.247,45

Progetto Esecutivo stralcio di completamento:

Approvato in linea tecnica in Conferenza Speciale di Servizi del Genio Civile di Messina in data 19.07.2017 dell'importo complessivo di € 13.700.00,00



PROGETTO ESECUTIVO DI RIUNIONE ED AGGIORNAMENTO DEI LAVORI DEL 1° STRALCIO E DI QUELLO DI COMPLETAMENTO

REV.	DATA	EMISSIONE	RED.	VER.	APPR.
0	27/06/19	PRIMA EMISSIONE	G.V.BORDENCA	F.GIORDANO	F.GIORDANO
1					
2					
CODICE PROGETTO 1 9 0 1		ELABORATO: All. 8	REV. A	SCALA: -	

Relazione geologica

(Redatta dal Dott. Geol. Giovanni Ventura Bordenca)



IL R.U.P.:

Geom. Arturo Ciampi

4° Settore Tecnico Lavori Pubblici



DINAMICA S.r.l.
PROGETTO VERIFICATO



IL SUPPORTO ESTERNO AL R.U.P.:

Ing. Salvatore Perillo

IL PROGETTISTA:

Ing. Francesco Giordano

ingfrancescogiordano@gmail.com

COLLABORAZIONE:

Sigma Ingegneria S.r.l.

sigmaingsrl@gmail.com

IL SINDACO:

Dott.ssa Clara Rametta

Clara Rametta

Regione Siciliana
Assessorato delle Infrastrutture e della Mobilità
Dipartimento Regionale Tecnico
COMMISSIONE REGIONALE DEI LAVORI PUBBLICI
Legge regionale 12 luglio 2011, n. 12 art.5, comma 12
Copia conforme all'elaborato esaminato nelle sedute
del 04 Dicembre 2019 e 17 Dicembre 2019

Parere n° 128

Il Relatore: Ing. Antonino Platania
(in carica Ufficio del Genio Civile di Messina)



REGIONE SICILIANA
UFFICIO DEL GENIO CIVILE - MESSINA

Visto: Si esprime parere favorevole in linea tecnica
ai sensi dell'art. 12 del R. C. N. e con riferimento alla
nota di pari data e di protocollo.

N. 222826



15 NOV 2019

IL SEGNERE CAPO
Antonino Platania

UFFICIO DEL GENIO CIVILE
- MESSINA -

Si attesta che le previsioni del progetto presentato
sono conformi alle norme di regola tecnica.
L'autorizzazione all'inizio dei lavori è subordinata
alla formale domanda ai sensi dell'Art. 17
della Legge n. 1974



15 NOV 2019

IL SEGNERE CAPO
Antonino Platania

INDICE

1 -	PREMESSE E GENERALITA'	Pag. 1
2 -	BREVE DESCRIZIONE DELLE OPERE PREVISTE IN PROGETTO.....	Pag. 3
3 -	INQUADRAMENTO GENERALE DEL- L'AREA DI PROGETTO.....	Pag. 5
3.1 -	Contesto geodinamico ed aspetti relativi alle condizioni di pericolosità sismica e vulcanica.....	Pag. 5
3.2 -	Inquadramento geografico-fisico e principali caratteri geomorfologici	Pag. 12
3.3 -	Lineamenti geologici e idrogeologici.....	Pag. 16
4 -	INDAGINI ESEGUITE	Pag. 20
4.1 -	Sintesi dei risultati della campagna di indagini geognostiche.....	Pag. 20
4.2 -	Sintesi dei risultati della campagna di indagini subacquee	Pag. 21
4.3 -	Sviluppo e risultati delle indagini per la la caratterizzazione sismica dei terreni.....	Pag. 23
5 -	MODELLAZIONE GEOLOGICA DELL'AREA PORTUALE E CONSIDERAZIONI SULLA FATTIBILITA' GEOLOGICA DELLE OPERE IN PROGETTO	Pag. 32

Appendice A - Sondaggi geognostici

Appendice B - Prove geotecniche di laboratorio

Appendice C - Indagine sismica MASW

Appendice D - Misure di microtremore ambientale HVSr

1. PREMESSE E GENERALITA'

Nella presente relazione vengono riportati i risultati dello studio geologico, geomorfologico e geofisico eseguito a supporto del progetto esecutivo di riunione dei lavori del 1° stralcio e di quello di completamento, redatto dall'Ing. Francesco Giordano, relativo in particolare ai *"Lavori di riqualifica e di adeguamento delle opere foranee, delle banchine, dello scalo di alaggio e dei fondali dell'approdo di Scalo Galera – Malfa"*, nell'isola di Salina (V. Fig. 1.1).



Fig. 1.1 - Corografia dell'isola di Salina con localizzazione dell'area di progetto (dai tipi cartografici dell'I.G.M.I - F° 244 IV SO)

Nello specifico, nell'ambito della consulenza oggetto dell'incarico, per definire gli aspetti geologici e geomorfologici complessivi del settore di territorio entro cui si individua l'area portuale oggetto degli interventi, lo scrivente, geologo Giovanni Ventura Bordenca, si è avvalso, oltre che delle informazioni ottenute da un'analisi bibliografica di ricerche e studi tecnico-scientifici di settore in proprio possesso, sia di dati acquisiti nel corso di studi geologici ed indagini svolti in precedenza, redatti dallo scrivente, a partire dal 2003 e a loro volta allegati al progetto definitivo¹, al

¹ Comune di Malfa - Lavori di riqualifica e di adeguamento delle opere foranee, delle banchine, dello scalo di alaggio e dei fondali dell'approdo di Scalo Galera - Malfa – Progetto definitivo – Studio geologico (Aprile 2003).

progetto esecutivo funzionale di primo stralcio² ed al progetto esecutivo stralcio di completamento³, sia dei risultati ottenuti nel corso di una campagna geognostica in sito ed in laboratorio eseguita, quest'ultima, nel 2004⁴, che vengono qui integralmente richiamati.

Il presente studio, inoltre, è stato aggiornato ed adeguato alle più recenti normative tecniche vigenti in materia⁵ mediante l'esecuzione di una campagna d'indagine geofisica finalizzata alla caratterizzazione sismica del sito, nonché alla classificazione dei terreni interessati dalle fondazioni delle strutture, in accordo alla sopra citata normativa. Gli aspetti di carattere geotecnico sono stati invece curati dal Prof. Ing. Calogero Valore che ne riferisce in apposita relazione.

Attraverso l'insieme dei dati così acquisiti, si è quindi proceduto alla modellazione geologica e sismica dei terreni di imposta delle opere previste. A tale scopo e per completezza di esposizione, pertanto, lo studio svolto è stato corredato da alcuni elaborati grafici che, insieme alle appendici relative ai risultati delle prospezioni effettuate ed alla documentazione fotografica allegata, costituiscono parte integrante del presente testo.

Nel seguito di quest'ultimo, dopo un inquadramento geologico e geomorfologico generale dell'area di progetto e di un suo intorno significativo si riferisce sinteticamente sullo sviluppo e sui risultati delle indagini geognostiche e geofisiche svolte sia in occasione della campagna del 2004 che più recentemente e si descrivono più in dettaglio, attraverso lo sviluppo di sezioni geologiche rappresentative dell'opera foranea in progetto, le caratteristiche e l'andamento nel sottosuolo dei fondali presenti nello specchio acqueo antistante l'approdo di Scalo Galera.

Alla redazione ed alla stesura del presente studio geologico ha collaborato il Geol. Carlo Saggio.

² Comune di Malfa - *Lavori di riqualifica e di adeguamento delle opere foranee, delle banchine, dello scalo di alaggio e dei fondali dell'approdo di Scalo Galera - Malfa* – Progetto esecutivo 1° stralcio funzionale – Studio geologico (Marzo 2006).

³ Comune di Malfa - *Lavori di riqualifica e di adeguamento delle opere foranee, delle banchine, dello scalo di alaggio e dei fondali dell'approdo di Scalo Galera - Malfa* – Progetto esecutivo stralcio di completamento – Relazione geologica (Gennaio 2017).

⁴ Comune di Malfa - *Lavori di riqualifica e di adeguamento delle opere foranee, delle banchine, dello scalo di alaggio e dei fondali dell'approdo di Scalo Galera - Malfa* – Progetto definitivo – Relazione geologica sulle indagini geognostiche e geofisiche (Aprile 2004).

⁵

- Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 Marzo 2003 concernente i "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica";
- Decreto Ministeriale del 17 gennaio 2018 relativo all'aggiornamento delle "Norme tecniche sulle costruzioni", pubblicato nel Supplemento Ordinario n. 42 della Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana del 20 Febbraio 2018;
- Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti - Circolare 21 gennaio 2019, n. 7 C. S. LL. PP. inerente alle "Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle "Norme Tecniche per le costruzioni"» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018" pubblicata nel Supplemento Ordinario n. 5 della Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana dell'11 febbraio 2019.

2. BREVE DESCRIZIONE DELLE OPERE PREVISTE IN PROGETTO

Il progetto esecutivo di riunione dei lavori del 1° stralcio e di quello di completamento relativo, nello specifico, alla riqualificazione ed all'adeguamento delle opere foranee, dello scalo di alaggio e dei fondali dell'approdo di Scalo Galera, nel territorio comunale di Malfa ricadente nell'ambito dell'isola di Salina (ME), prevede sinteticamente i seguenti interventi, così come più compiutamente descritto negli elaborati di progetto a cui si rimanda per ogni ulteriore e più specifico approfondimento in merito (**cf. Fig. 2.1 - Stralcio planimetrico schematico delle opere in progetto**):

- A. il salpamento delle opere preesistenti, rappresentate dalla struttura a gettata, alla radice della nuova diga foranea, fino a quota + 2.50 m s.l.m.m., oltre che del pennello interno preesistente fino a quota -4.00 m s.l.m.m.;
- B. la realizzazione di un'opera foranea sempre del tipo a gettata, dalla progr. 0.00 m alla progr. 36.70 m e di un tratto di raccordo con retrostante riqualifica del piazzale posto a quota + 4.00 m s.l.m., insieme ad una mantellata realizzata con massi artificiali tipo accropodi del volume di 16 mc;
- C. la realizzazione di una diga foranea del *tipo composito*, dalla progr. 104.40 m alla progr. 122.80 m, con un cassone cellulare protetto lato mare ed un'opera a gettata definita mediante una mantellata in massi artificiali tipo accropodi del volume di 16 mc;
- D. la realizzazione della testata della diga foranea, dalla progr. 122.80 m alla progr. 140.80 m, costituita da n°2 cassoni cellulari tra loro affiancati ed il "riccio" di testata rivestito in accropodi da 20 mc;
- E. la costruzione di una banchina di riva sottostante il piazzale e di una seconda banchina sottostante, invece, lo scalo di alaggio;
- F. il completamento delle opere in progetto mediante l'adeguamento sia dei fondali con escavazione e salpamento fino a quota - 4.00 m s.l.m., sia dello scalo di alaggio realizzato, quest'ultimo, su uno scanno d'imbasamento in pietrame;

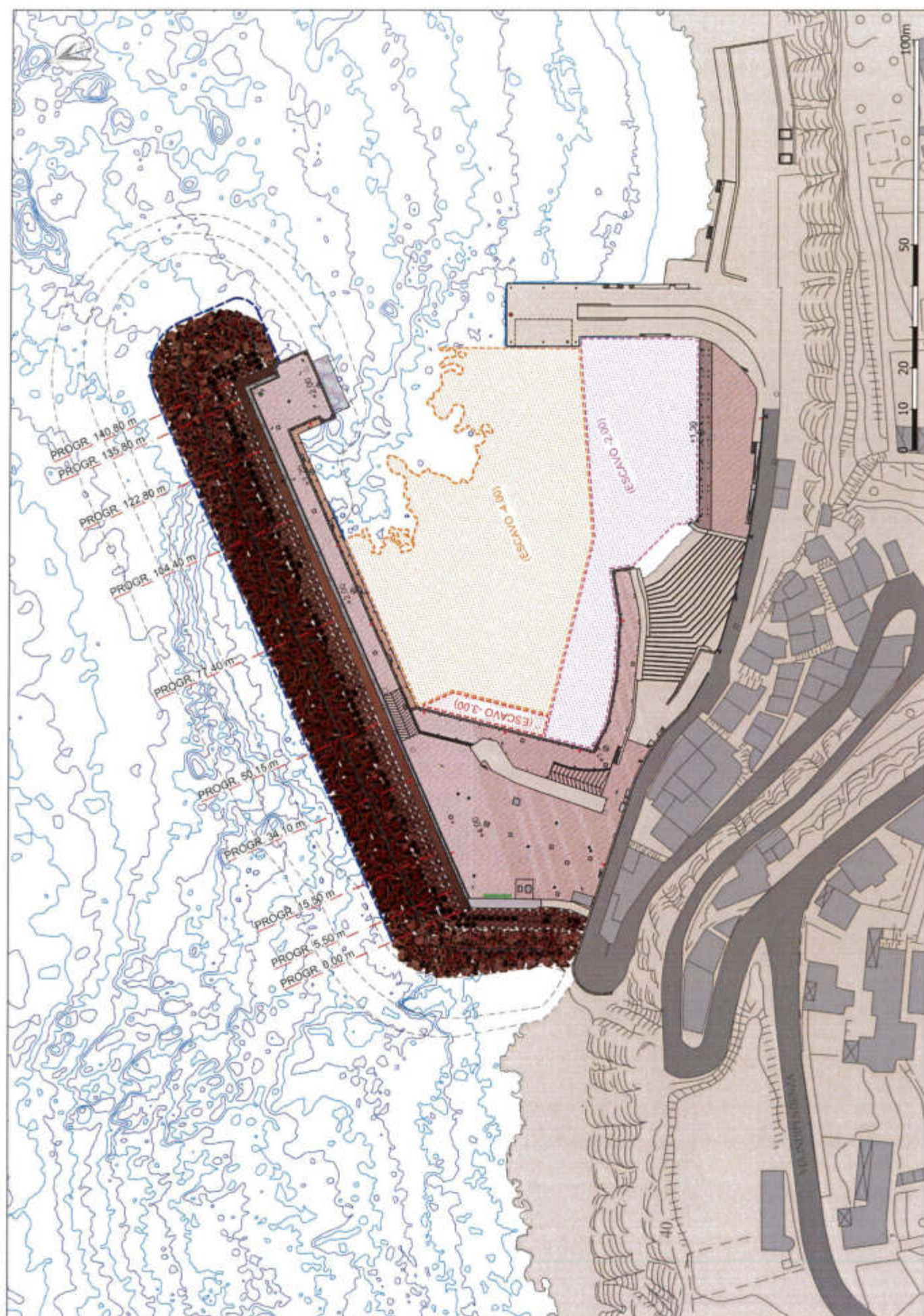


FIG. 2.1 - STRALCIO PLANIMETRICO SCHEMATICO DELLE OPERE IN PROGETTO

G. la realizzazione degli impianti tecnologici a servizio dell'approdo (illuminazione, segnalamento luminoso, antincendio, ecc.).

3. INQUADRAMENTO GENERALE DELL'AREA DI PROGETTO

3.1 - Contesto geodinamico ed aspetti relativi alle condizioni di pericolosità sismica e vulcanica

Le sette isole che costituiscono l'arcipelago delle Eolie situato nel basso Tirreno, rappresentate nello specifico da Alicudi, Filicudi, Salina, Panarea, Lipari, Vulcano e Stromboli, costituiscono la parte superficiale di un più ampio sistema vulcanico che si estende per circa 87 km con gli apparati emersi, ma che si prolunga con altri vulcani sottomarini formando una struttura a semicerchio aperta verso Nord, lunga oltre 200 km.

Nell'ambito di questo complesso di elementi, le porzioni insulari afferenti agli apparati sommersi più estesi, poste ad una trentina di miglia circa dalla costa siciliana, di fronte alla penisola di Milazzo, appaiono disposte secondo una caratteristica configurazione ad Y determinata dalla presenza di tre direttrici geostrutturali principali che, a partire da un centro comune rappresentato appunto dall'isola di Salina, si sviluppano approssimativamente in senso NE-SO, NNO-SSE ed ENE-OSO.

Nella letteratura scientifica di settore, infatti, la genesi dell'intero arco magmatico summenzionato è stata legata alla più ampia evoluzione del Mediterraneo centrale, in rapporto alla convergenza fra le placche africana ed euroasiatica, come diretta conseguenza di un vulcanismo sviluppatosi durante il Quaternario nel novero di un sistema arco-fossa che comprende:

- a) un margine collisionale corrispondente ad una depressione parallela alla costa ionica;
- b) un fronte orogenetico rappresentato dal segmento della Catena Appenninico-Maghrebide riconducibile all'arco calabro-peloritano;
- c) un bacino di retroarco marginale situato nella piana abissale tirrenica.

In questo contesto, più in particolare, il corpo litosferico in subduzione al di sotto del tratto di catena ed entro il mantello, riferibile notoriamente alla c.d. "placca adriatica", immerge, con un'estensione laterale di 200 km, fino a circa 500 km di profondità secondo una direzione ONO ed un'inclinazione di 50°-60°, mentre l'intero complesso vulcanico, nella sua parte meridionale, risulta

intersecato da un importante direttrice tettonica regionale e crostale, caratterizzata da una prevalente componente di trascorrenza destra ed un orientamento NNO-SSE, indicata come linea “Eolie-Tindari-Giardini (o Letojanni)”. Quest’ultima, condiziona strettamente la distribuzione areale dei centri vulcanici nelle isole di Lipari, di Vulcano ed in misura minore anche di Salina, laddove si riscontrano altresì lineazioni strutturali orientate in senso Est-Ovest. Allo stesso modo, nei settori occidentale ed orientale del comprensorio, lungo gli allineamenti Alicudi-Filicudi e Lipari-Panarea-Stromboli, l’arco eoliano appare interessato da sistemi di discontinuità orientate, rispettivamente, in senso NO-SE e NNE-SSO (V. Fig. 3.1).



In relazione a questi aspetti, l’intero arcipelago eoliano risulta interessato da un’intensa attività sismotettonica con un elevato numero di ricorrenze, che si esplica sia attraverso terremoti riconducibili alla presenza della zona di subduzione sopra citata, caratterizzati da ipocentri intermedi e profondi e valori di magnitudo M fino a 7.5, sia mediante sismi più superficiali, concentrati negli spessori crostali entro un intervallo di profondità compreso fra 8 e 16 km ($M < 6$), dovuti invece principalmente ai movimenti lungo i sistemi di faglie regionali prima richiamati.

Per quanto riguarda più specificatamente la storia sismica dell'isola di Salina, occorre rilevare che nel *Database Macrosismico Italiano*⁶ sono stati catalogati alcuni terremoti, avvenuti a partire dall'anno 1000 d.C., che hanno avuto effetti sui diversi centri abitati della stessa (Leni, Malfa, Santa Marina) e per i quali sono state indicate sia l'intensità massima, sia la relativa Magnitudo momento (Mw) della scossa principale all'epicentro (**V. Tabella I**).

I (EMS-98)	Data	Area epicentrale	Io	Mw
4-5	1823 03 05	Sicilia settentrionale	8	5.81
7	1892 03 16	Alicudi	7	5.24
5	1894 08 03	Salina	4	3.7
5	1894 11 16	Calabria meridionale	9	6.12
4	1894 12 27	Filicudi	6	4.99
5	1904 07 16	Salina	5	4.16
6-7	1908 12 28	Stretto di Messina	11	7.1
3-4	1916 07 03	Isola di Stromboli	5-6	4.66
7-8	1926 08 17	Isole Eolie	7-8	5.28
4	1930 03 26	Tirreno meridionale	6-7	4.92
7	1939 01 27	Isole Eolie	7	5.1
6-7	1963 06 13	Isole Eolie	6	4.67
2	1975 01 16	Stretto di Messina	7-8	5.18
6-7	1978 04 15	Golfo di Patti	8	6.03
3	1993 03 01	Tirreno meridionale		4.09
4	1995 07 23	Isole Eolie	6	4.63
3	1999 02 14	Golfo di Patti	6	4.66
5-6	2002 04 05	Isole Eolie	5-6	4.49
4	2002 09 06	Tirreno meridionale	6	5.92
4	2006 02 27	Monti Peloritani	5	4.38
5	2010 08 16	Isole Eolie	5-6	4.68
3	2013 08 15	Monti Peloritani	5-6	4.38

Tabella I - Dati sismici relativi all'isola di Salina estratti dalla banca dati nazionale dei terremoti

La maggior parte di tali risentimenti sono stati ricondotti, in questo caso, ad eventi sismici avvenuti nelle Eolie orientali e nel Golfo di Patti, prodotti dalla zona sismogenetica ZS932⁷, comprendente l'isola di Salina in corrispondenza del suo limite nord occidentale, la quale, dal punto di vista tettonico, include strutture come il summenzionato sistema di faglie Tindari-Letojanni che consente l'arretramento dell'Arco Calabro Peloritano e la segmentazione dello stesso golfo sopracitato.

⁶ Locati M., Camassi R., Rovida A., Ercolani E., Bernardini F., Castelli V., Caracciolo C.H., Tertulliani A., Rossi A., Azzaro R., D'Amico S., Conte S., Rocchetti E. (2016), *DBMI115, the 2015 version of the Italian Macroseismic Database*. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia - doi: <http://doi.org/10.6092/INGV.IT-DBMI115>.

⁷ <http://zonesismiche.mi.ingv.it>

Altri effetti rilevanti, secondo i dati tratti dalla risorsa DISS (*Database of Individual Seismogenic Sources*) sono stati associati a terremoti prodotti da sorgenti sismogenetiche localizzate nel Tirreno meridionale (V. Fig. 3.2).

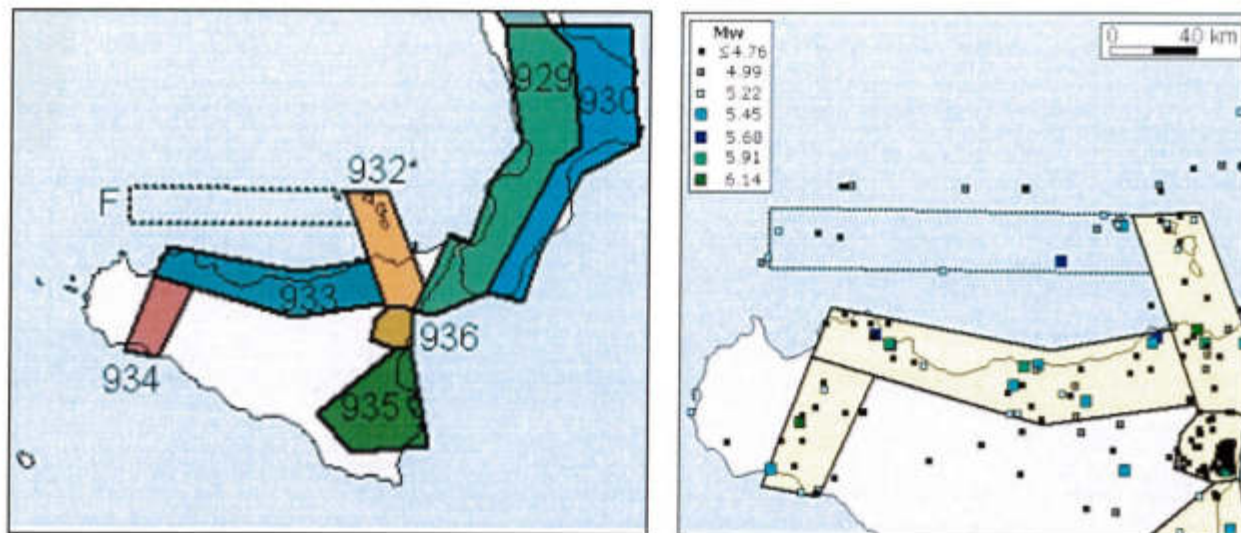


Fig. 3.2 - Zonazione sismogenetica della Sicilia e dell'Arco Calabro (a sinistra) e sismicità del catalogo parametrico dei terremoti italiani (CPTI15) sovrapposta alle zone sismogenetiche della Sicilia (tratta da: Zonazione sismogenetica ZS9 - App. 2 al Rapporto Conclusivo, a cura di C. Meletti e G. Valensise, 2004)

Dall'analisi della tabella prima riportata è possibile riscontrare, in prima istanza, che i dati raccolti sono riferiti essenzialmente agli ultimi 200 anni, denunciando una probabile incompletezza del catalogo riguardo ai periodi più antichi. Dall'esame storico di dette informazioni si osserva comunque più nello specifico che i massimi effetti risentiti hanno raggiunto i 7-8 gradi della scala macrosismica europea EMS-98 in occasione sia dell'evento sismico avvenuto nello Stretto di Messina il 26 dicembre 1908, sia del terremoto del 17 agosto 1926 che ha provocato, a Malfa, il crollo di una parte della Chiesa Madre di San Lorenzo.

Proprio in seguito al sisma distruttivo verificatosi a Messina nel 1908, lo stesso territorio comunale, situato nella parte settentrionale dell'isola di Salina, è stata una delle prime aree classificate sismiche attraverso il R.D. emanato nel 1909⁸.

Allo stesso modo, sempre il Comune di Malfa, nel successivo D.M. del 29 febbraio 1984 riguardante la classificazione sismica del territorio nazionale basata su uno studio del Consiglio

⁸ Regio Decreto 18 aprile 1909 n. 193 portante norme tecniche ed igieniche obbligatorie per le riparazioni, ricostruzioni e nuove costruzioni degli edifici pubblici e privati nei luoghi colpiti dal terremoto del 28 dicembre 1908 e da altri precedenti elencati nel R.D. 15 aprile 1909 e ne designa i Comuni (G.U. n°95 del 22 aprile 1909).

Nazionale delle Ricerche (CNR), è stato ascrivito ad un ambito di prima categoria caratterizzato da un grado di sismicità **S** pari a **12** e da un coefficiente di intensità sismica **c** uguale a **0,1**.

Nella più recente Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n°3274 del 20.03.2003⁹, il medesimo territorio comunale compreso nella provincia di Messina, è stato nuovamente considerato ad alto rischio sismico ed indicato conseguentemente come **Zona 1**. Tale attribuzione tuttavia non è stata mantenuta nella Delibera di Giunta Regionale Siciliana n°408 del 19.12.2003¹⁰, resa operativa attraverso il successivo decreto attuativo n°3 del 15 gennaio 2004, che ha recepito la O.P.C.M. 3274, apportando alcune variazioni alla zonazione espressa nell'ambito della normativa nazionale. In quest'ultimo caso, in particolare, l'isola di Salina ed il territorio comunale di Malfa in essa compreso sono stati considerati come ricadenti in una **Zona 2**, definita da un valore massimo di accelerazione di picco orizzontale **ag** su suolo pianeggiante e rigido ($V_s > 800$ m/s), con probabilità di superamento del 10% in 50 anni, pari a **0,25g**.

Da un'analisi puntuale dei valori dei nodi della griglia con passo di 0.05 gradi¹¹ con cui è stata realizzata la mappa della pericolosità sismica di riferimento per il territorio nazionale (O.P.C.M. n°3519 del 28 aprile 2006¹²), delimitanti nello specifico il Comune di Malfa, risulta tuttavia che i suddetti valori di **ag** sono compresi nell'intervallo **0.175÷0.225g**.

In ordine sempre a quanto sin qui descritto, occorre anche rilevare che, in merito agli aspetti relativi alla pericolosità sismica del territorio eoliano, è stato preso più recentemente in considerazione anche il rischio derivante da maremoti e dalle conseguenti onde anomale da essi generate (*tsunami*). Ciò in relazione principalmente sempre all'evento sismico verificatosi nel 1908 nello Stretto di Messina, in conseguenza verosimilmente dell'attività tettonica di una faglia ad andamento NNE-SSO localizzata all'interno di quest'ultimo, in concomitanza apparentemente con una frana sottomarina verificatasi presso Giardini Naxos. Il terremoto, in questo caso, ha provocato

⁹ *Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica* (G.U.R.I. n°108 dell'8 maggio 2006).

¹⁰ *Individuazione, formazione ed aggiornamento dell'elenco delle zone sismiche ed adempimenti connessi al recepimento ed all'attuazione dell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri 20 marzo 2003, n. 3274.*

¹¹ Gruppo di Lavoro MPS (2004) - *Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCM 3274 del 20 marzo 2003. rapporto Conclusivo per il Dipartimento della Protezione Civile* - INGV, Milano-Roma, aprile 2004, 65 pp. + 5 appendici.

¹² *Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle stesse zone* (G.U.R.I. n°108 del 1° 8 maggio 2003).

uno dei più violentissimi tsunami mai registrati in ambito nazionale, che ovunque si è manifestato con un'iniziale ritiro delle acque marine, seguito dopo pochi minuti da almeno tre grandi ondate, le quali, in diversi tratti della costa ionica e tirrenica siciliana, hanno determinato ingressioni del mare verso l'entroterra (c.d. *run up*) per lunghezze variabili da pochi metri ad oltre 100 m.

A Salina, in particolare, manifestazioni di questo tipo si sono osservate nel corso del già citato evento sismico del 17 agosto 1926, avente epicentro nella stessa isola e di probabile origine vulcanica, che, oltre al crollo di una parte della Chiesa Madre di San Lorenzo prima accennato, ha provocato sia risentimenti nelle località di Malfa e Pollara, dove molti edifici sono stati danneggiati pesantemente, sia l'innescò di diverse frane in tutto il territorio insulare. Anche in quell'occasione, infatti, si sarebbe riscontrato un anomalo movimento del mare accompagnato da un'iniziale fase di regressione, in corrispondenza delle spiagge di Malfa e di Contrada Capo¹³ (cfr. **Figure 3.3 e 3.4**).

In merito a queste occorrenze, alcuni fra gli studi specialistici più recenti hanno evidenziato che solo le sorgenti ibleo-maltesi hanno un potenziale adeguato a produrre sismi capaci di generare tsunami, portando così ad individuare, anche nei settori di litorale orientali dell'isola di Salina, delle c.d. "*coste a maremoto*".

Nel novero degli stessi studi, tuttavia, non sono state escluse altre cause concomitanti e nell'ambito dell'arcipelago eoliano sono state riconosciute in questo caso, come principali e più frequenti sorgenti "*tsunamigenetiche*", le eruzioni del vulcano di Stromboli ed i correlati collassi lungo la ben nota Sciara del Fuoco. In rapporto a queste condizioni ed alla realizzazione di opere come quella specificatamente prevista in progetto, i tratti di litorale meridionali dell'isola di Salina sono risultati quelli caratterizzati da eventi legati ad onde anomale inevitabilmente più contenuti, mentre nel settore settentrionale le zone esposte a rischi generati da repentini innalzamenti del livello del mare, ritenuti comunque negli studi specialistici più recenti dubbi o poco probabili, sarebbero rappresentate, in maniera pressoché esclusiva, da porti con imboccature non protette.

¹³ Nel "Catalogo degli Tsunami Euro-Mediterranei", per classificare ogni maremoto è stato utilizzato il parametro di *Reability* (attendibilità) per valutare equamente la qualità dei dati, basato sull'affidabilità delle informazioni relative alla causa generatrice del maremoto, sulla precisione della descrizione degli effetti dello tsunami e sul tipo di fonti bibliografiche disponibili. In riferimento a questo criterio di classificazione sono stati inclusi nel catalogo eventi con "Rel." variabile da 0 ("maremoto molto improbabile") a 4 ("maremoto certo").

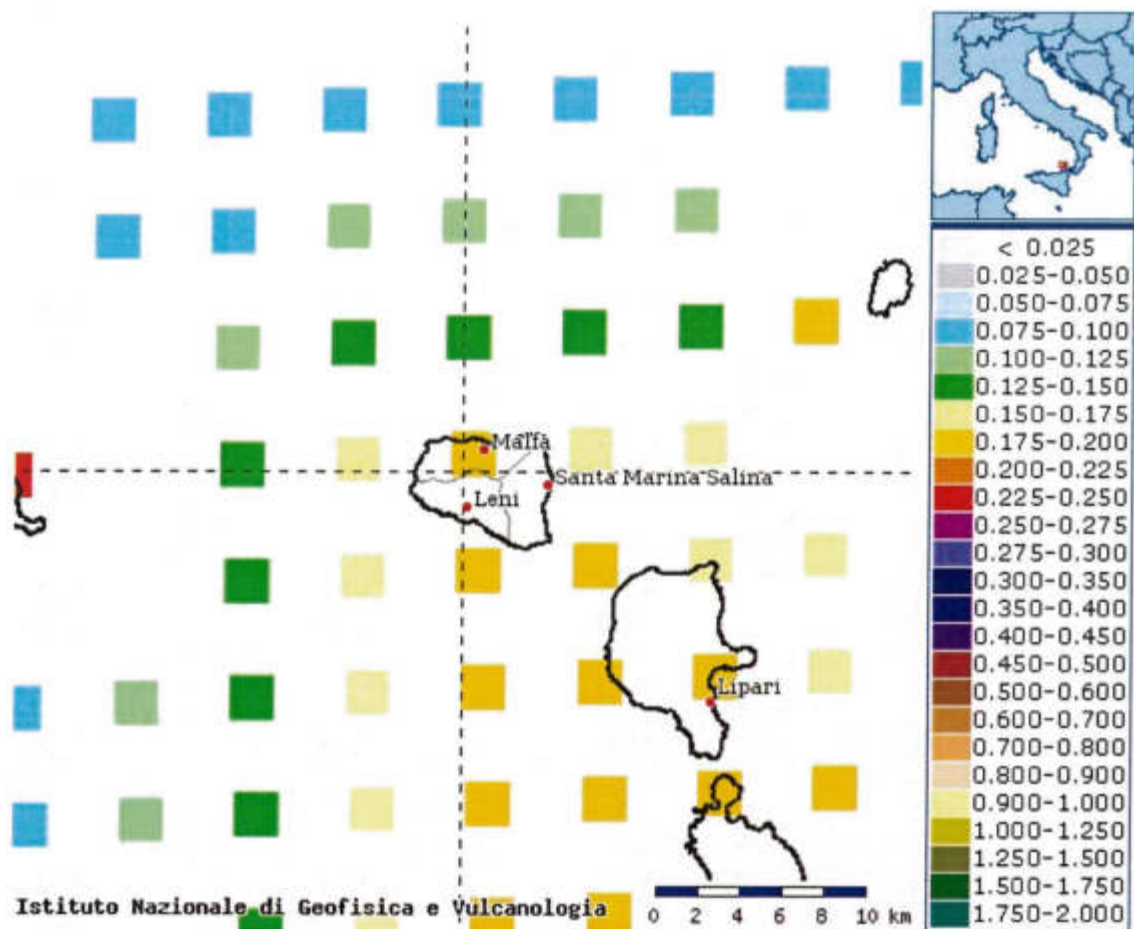


FIG. 3.3 - MAGLIA DEI VALORI DI PERICOLOSITA' SISMICA DEL COMUNE DI MALFA NELL'ISOLA DI SALINA
 (stralcio tratto da: *Mappa interattiva di pericolosità sismica* - <http://esse1-gis.mi.ingv.it/>)

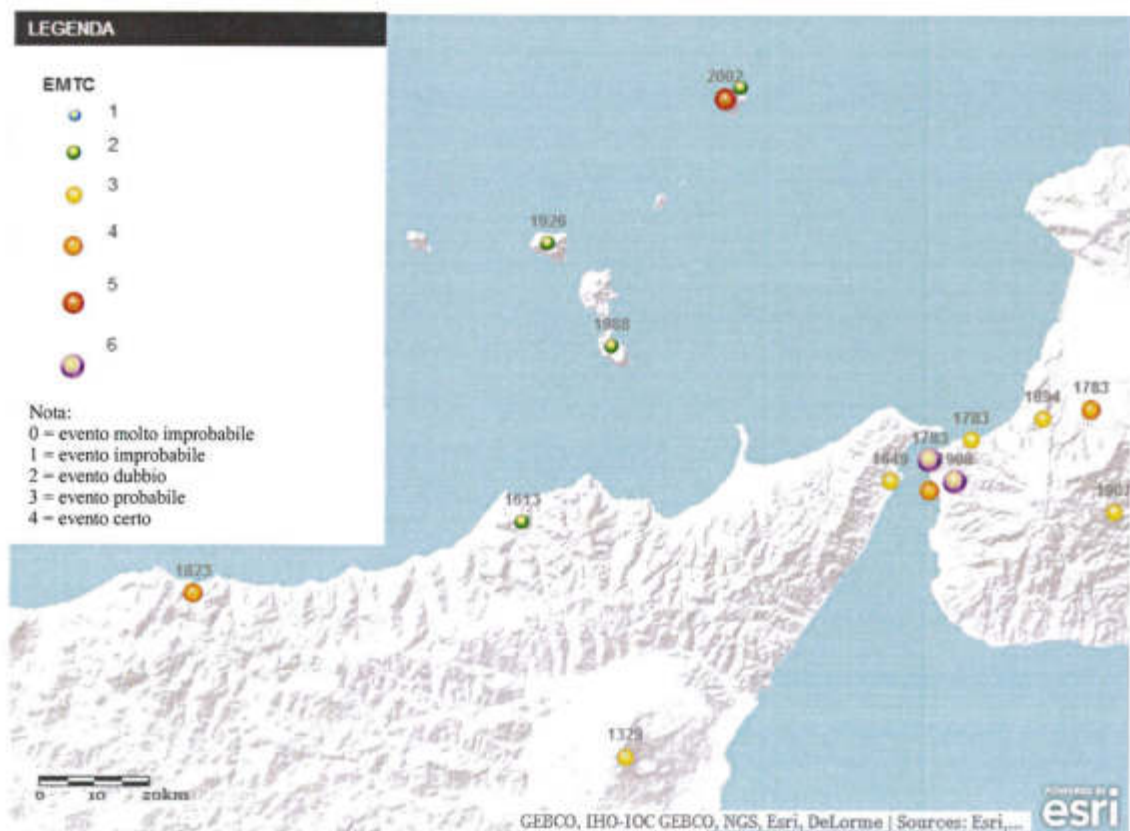


FIG. 3.4 - STRALCIO DELLA MAPPA DEGLI TSUNAMI CON LOCALIZZAZIONE DELL'EVENTO SISMICO VERIFICATOSI A SALINA IL 17 DICEMBRE 1926
 (stralcio tratto da: Maramai et alii (2014) - *The Euromediterranean Catalogue* - *Annals of Geophysics*, 57, 4, 2014 - Fonte: sito internet ufficiale INGV)

In ordine a questi aspetti occorre comunque anche rilevare che nel più recente *Piano Regionale di Gestione del Rischio Alluvioni*¹⁴, l'isola di Salina non è stata compresa nelle cartografie appositamente redatte per la mappatura delle aree allagabili in seguito appunto ad onde anomale.

Nello stesso contesto geodinamico entro cui si inserisce l'arcipelago eoliano, la sismicità intermedia e profonda è pure accompagnata da terremoti molto superficiali, caratterizzati generalmente da una magnitudo *M* inferiore a 2.5, che si concentrano principalmente in corrispondenza dei sistemi di discontinuità localizzati nell'ambito delle aree vulcaniche ancora attive.

Le direttrici tettoniche che si individuano nelle porzioni insulari emerse, delineatesi prevalentemente nel Quaternario, sono rappresentate, nello specifico, dai lineamenti che si sviluppano quasi ortogonalmente all'incurvatura dell'intero complesso magmatico eoliano, disposta secondo due direzioni principali orientate NNO-SSE e NNE-SSO.

A tali direttrici si ricollegano, infatti, le faglie e le fratture, caratterizzate spesso da sviluppi analoghi, che si rinvencono nelle isole dell'arcipelago. Le fasce tettonizzate ad esse associate, in alcuni casi, hanno favorito la risalita dei magmi formatisi a varie profondità, conseguenti ai fenomeni effusivi più recenti verificatisi nelle isole di Stromboli, Vulcano e Lipari. Queste ultime sono notoriamente le uniche dell'intero comprensorio ad essere soggette ad un vulcanismo attivo, in quanto, oltre ad essere state sede di eruzioni avvenute in tempi storici, sono attualmente interessate sia da un'attività effusiva prevalentemente esplosiva (Stromboli), sia da manifestazioni di termalismo e fumaroliche (Vulcano e Lipari). Fenomeni di tale tipologia si riscontrano, apparentemente, anche al largo di Salina che, dal punto di vista geovulcanico-strutturale, è caratterizzata da due distinti sistemi principali di lineazioni rappresentati in particolare da (cfr. **Figure 3.5 e 3.6**):

¹⁴ Il P.R.G.A., adottato con la Delibera di Giunta Regionale Siciliana n°274 del 25 luglio 2018, in attuazione della Direttiva 2007/60/CE, allo stato attuale non risulta ancora approvato in via definitiva.

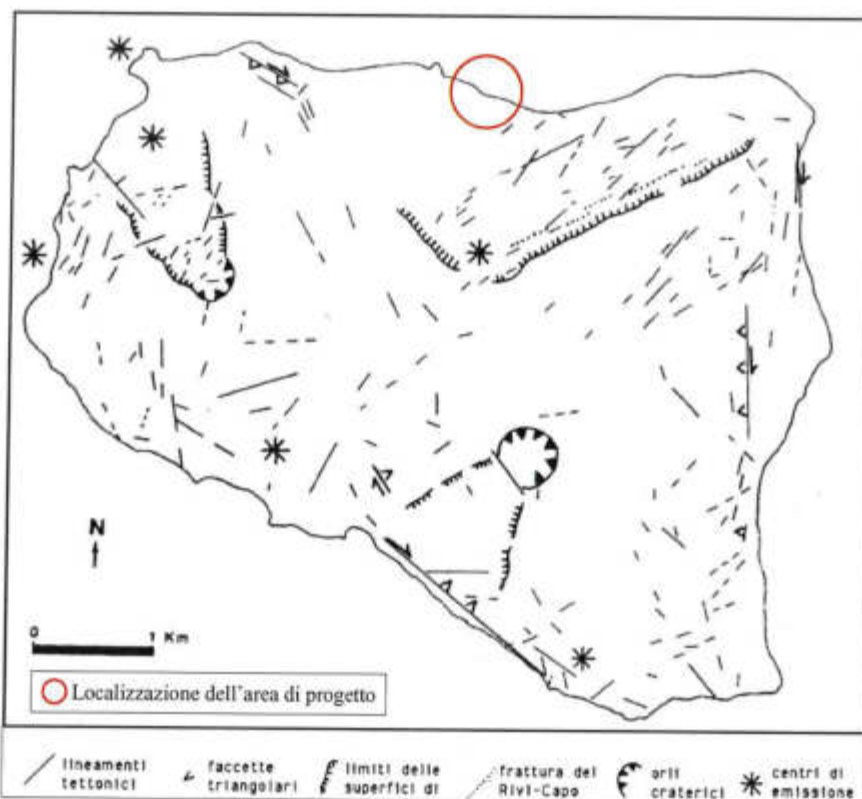
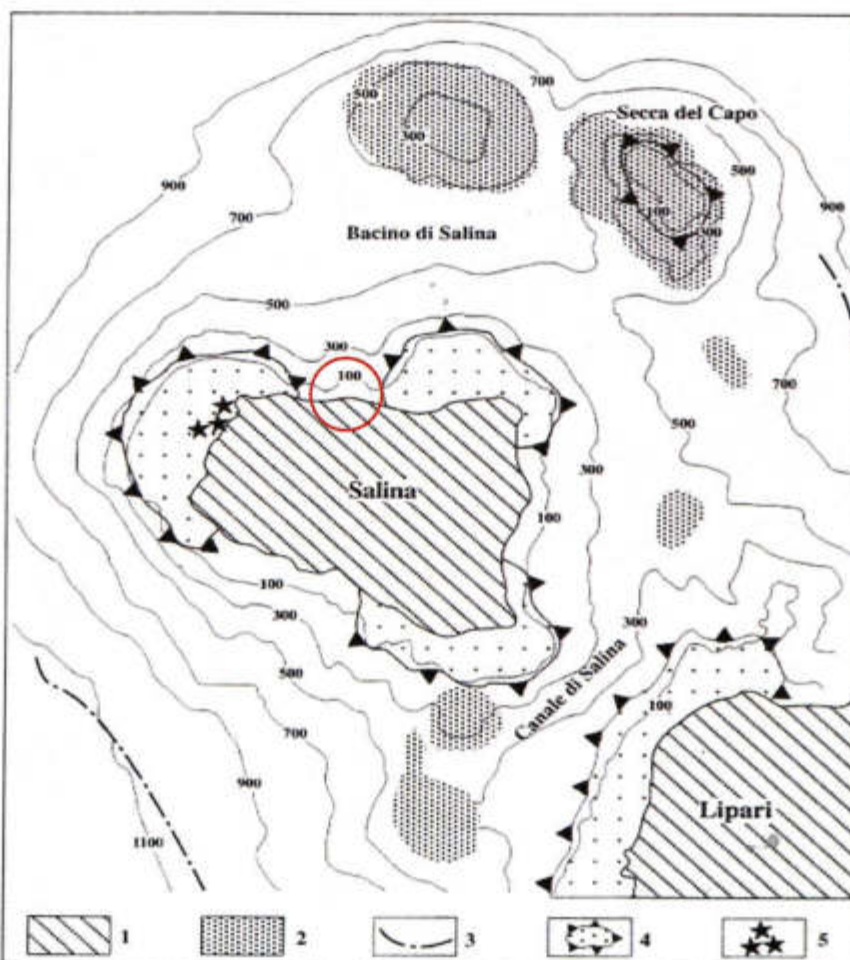


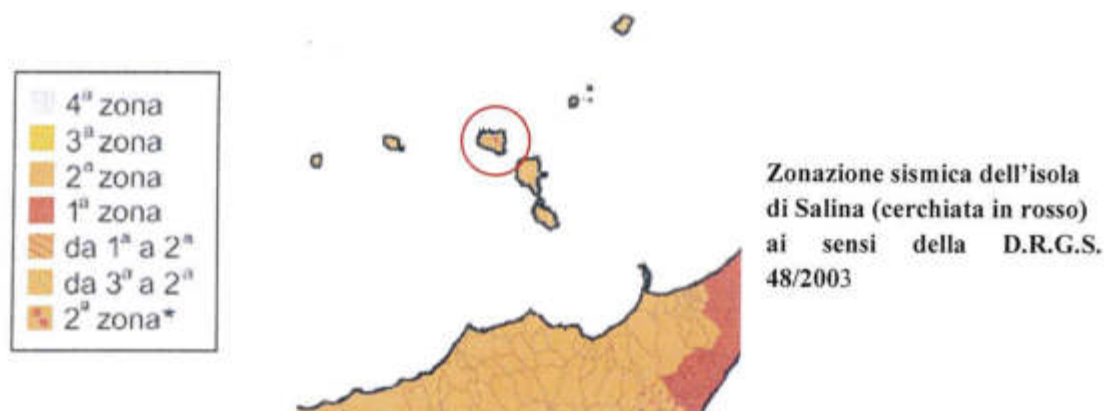
FIG. 3.5 - CARTA DELLE LINEAZIONI E DELLE STRUTTURE MORFOLOGICHE DELL'ISOLA DI SALINA
(da Critelli et alii, 1993)



Legenda
1 = aree emerse 2 = centri vulcanici secondari 3 = limite dell'apparato vulcanico 4 = terrazzo di abrasione marina 5 = emissioni fumaroliche Localizzazione dell'area di progetto

FIG. 3.6 - CARTA BATIMETRICO-MORFOLOGICA DEI SETTORI SOMMERSI CIRCOSTANTI L'ISOLA DI SALINA
(da Calanchi et alii, 1996)

- un allineamento Est – Ovest riconoscibile nell'andamento della costa settentrionale, sicuramente attivo nelle fasi iniziali di formazione dell'isola e che si evidenzia anche per la disposizione dei più antichi centri eruttivi;
- un allineamento N-S, marcato dall'orientazione dei segmenti di costa nei settori insulari orientale ed occidentale, attivo nelle fasi evolutive più recenti e verosimilmente anche attuali, come testimoniato sia dalle manifestazioni fumaroliche localizzate in corrispondenza della fascia litorale nord occidentale, sia dalle emanazioni gassose sottomarine a largo della località di Rinella, in entrambi i casi comunque esterne all'area di progetto.



3.2 - Inquadramento geografico-fisico e principali caratteri geomorfologici

L'isola di Salina, avente un'estensione areale pari a 22,75 km² seconda solo a quella di Lipari, con i suoi 962 m s.l.m. in corrispondenza di Monte Fossa delle Felci rappresenta, dal punto di vista altimetrico, l'elemento più elevato dell'arcipelago eoliano ed appare caratterizzata da una morfologia piuttosto aspra ed accidentata, tipica di ambienti vulcanici, comprendente coni craterici, guglie e duomi ben marcati, legata sia al tipo di apparati presenti (*stratovulcani*¹⁵) che alla costituzione petrografica e mineralogica dei depositi eruttivi.

L'isola, infatti, presenta una divisione morfologica netta, rappresentata dalla depressione tettonica di Valdichiesa, la quale, oltre a separare la parte orientale da quella occidentale, corrispondenti rispettivamente a due gruppi di unità vulcaniche di età differente, include anche la

¹⁵ Con il termine "stratovulcano" si indica una struttura geologica di origine magmatica alla cui edificazione hanno contribuito significativamente sia fenomeni effusivi (*colate laviche*), sia eventi eruttivi di carattere prettamente esplosivo con i conseguenti accumuli caratteristici che ne derivano (*depositi piroclastici*)

porzione di territorio entro cui ricade l'area portuale oggetto degli interventi. Quest'ultima si individua in corrispondenza dell'approdo di Scalo Galera localizzato nel comprensorio comunale di Malfa che, con la sua superficie di 8.56 km² pari ad un terzo complessivo dell'ambito insulare, rappresenta all'incirca il 7.5% dell'intero arcipelago (**cf. Fig. 3.7 - Inquadramento territoriale in scala 1:10.000**).

La parte orientale dell'isola sopra richiamata, nello specifico, risulta formata dagli edifici vulcanici del Capo, del Rivi e della Fossa delle Felci, mentre quella occidentale dagli apparati del Corvo, del Porri e del cratere Pollara.

Nell'ambito insulare, inoltre, la valle di Valdichiesa prima citata suddivide i coni vulcanici del Monte Fossa delle Felci (962 m s.m.) e del Monte Porri (860 m s.m.) che presentano una morfologia vulcanica giovane. I fianchi molto ripidi di entrambi i coni appaiono infatti profondamente incisi da solchi e valli radiali, che rappresentano il risultato dell'erosione subita dalle rocce vulcaniche ad opera principalmente delle acque di ruscellamento e che appare molto più profonda e marcata nell'ambito dei depositi piroclastici, poco coerenti.

Gli edifici dei vulcani più antichi appaiono, invece, profondamente erosi in corrispondenza dei fianchi maggiormente esposti all'azione erosiva del mare e presentano superfici di abrasione, specialmente lungo le coste tra S. Marina e Malfa.

L'assetto geomorfologico, pertanto, risulta condizionato da vari fattori:

- la grande variabilità litologica delle formazioni geologiche, sia in senso verticale che orizzontale, la quale determina un comportamento diverso rispetto all'azione morfogenetica degli agenti esogeni in funzione delle assai varie caratteristiche litotecniche strettamente correlate alle modalità genetiche dei terreni vulcanici;
- l'intensa attività neotettonica e vulcano-tettonica;
- l'azione erosiva del mare che risulta particolarmente intensa sia a causa dell'elevata acclività dei versanti sottomarini che per la presenza di falesie.

Le forme di erosione più caratteristiche del paesaggio eoliano come quello tipico di Salina



FIG. 3.7 - INQUADRAMENTO TERRITORIALE CON UBICAZIONE DELL'AREA PORTUALE IN PROGETTO
(scala 1:10.000)

sono infatti rappresentate principalmente, oltre che da profondi canali che incidono i versanti maggiormente esposti all'azione erosiva, dalle coste a "falesia" distribuite estesamente lungo lo stesso perimetro insulare. Queste ultime, molto diffuse peraltro nel settore settentrionale dell'isola, presentano al piede un'incisione detta **solco di battente**, generata dall'azione erosiva del moto ondoso all'altezza del livello medio delle acque, la quale, approfondendosi col tempo, determina il distacco ed il crollo del materiale lapideo soprastante, esponendo le pareti a rapidi e continui arretramenti delle masse di roccia che le compongono (V. Fig. 3.8).

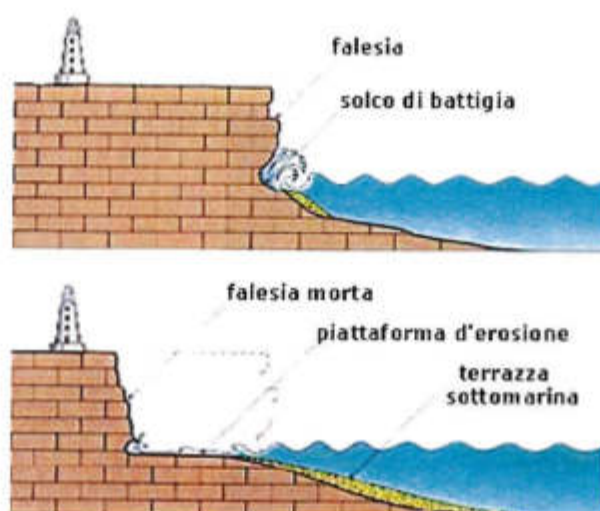


Fig. 3.8 - Schema dell'evoluzione di una falesia

Tale situazione viene ulteriormente aggravata peraltro dall'azione erosiva sia dei venti che delle acque di precipitazione, i quali agendo selettivamente sui livelli a vario grado di addensamento e/o cementazione, producono forme e strutture a "sbalzo", evidenziando così i livelli che offrono maggiore resistenza all'erosione.

Queste forme tendono sempre più ad accentuarsi e nel tempo a distaccarsi dalla parete rocciosa lungo le superfici di discontinuità presenti nell'ammasso lapideo. L'arretramento della falesia, attraverso il crollo e l'accumulo di materiale alla loro base, favorisce la formazione di modeste spiagge. Tale fenomeno, peraltro testimoniato da frequenti e locali piccoli promontori (Punta Scario) o emergenze affioranti immediatamente sottocosta e sviluppati su una piattaforma di abrasione marina posta a bassa profondità, caratterizza buona parte della fascia costiera dell'isola di Salina. Ciò determina pertanto diffusi fenomeni di instabilità, sia locali che generali, quali frane di

“crollo” e “ribaltamento” ampiamente diffusi in tutta la fascia litoranea che decorre con andamento Ovest-Est nel settore settentrionale dell'isola, da Punta di Perciato a Capo Faro.

La rapidità del fenomeno di smantellamento delle falesie è resa evidente, in queste condizioni, anche dal rapido arretramento del sistema di drenaggio delle acque di deflusso superficiale ed in particolare dai salti morfologici degli alvei e delle conseguenti valli sospese che si osservano in prossimità della costa, le quali testimoniano ancor di più come tale processo di smantellamento sia talora più rapido dell'incisione dei fossi di ruscellamento. Questi ultimi sono spesso rappresentati da canali più accentuati, talora sede di fenomeni di instabilità gravitativa ascrivibili prevalentemente a colate rapide di detrito e sottesi da forme perivulcaniche più ampie di tipo costruttivo, che sboccano su estese conoidi coalescenti come quella che si individua in corrispondenza della già citata depressione tettonica di Malfa (**cf. Fig. 3.9 - Carta geomorfologica schematica dell'isola di Salina**).

In merito a questi ultimi aspetti, occorre tuttavia rilevare che il sito in studio non rientra in zone individuate come soggette a pericolosità geomorfologica o idraulica nel più recente aggiornamento del Piano Straordinario per l'Assetto Idrogeologico di cui al D.A.R.T.A. 298/41 del 4 luglio 2000, inerente specificatamente all'arcipelago eoliano¹⁶ (**cf. Figg. 3.10+3.12 - Stralci delle cartografie tematiche allegate al P.A.I. in scala 1:10.000**).

Nell'area a ridosso del porticciolo di Scalo Galera, peraltro, per ridurre la pericolosità delle aree in dissesto e garantire sufficienti condizioni di stabilità generali sono stati eseguiti lavori di mitigazione del rischio mediante opere di consolidamento e di sostegno così come mostra la ripresa fotografica di seguito riportata, stralciata dalla relazione allegata al già citato Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico relativo alle Isole Eolie.

La prevalenza lungo il perimetro insulare di tratti di falesia interessati da crolli determina conseguentemente una distribuzione di questi ultimi praticamente speculare rispetto a quelli occupati da spiagge in erosione. In rapporto a questo aspetto, sempre i dati riportati nell'ambito del P.A.I. relativamente all'unità fisiografica n°26 comprendente appunto le Isole Eolie, portano in

¹⁶ Assessorato Regionale Territorio e Ambiente (anno 2006) - Piano Stralcio di Bacino Isole Eolie (103).

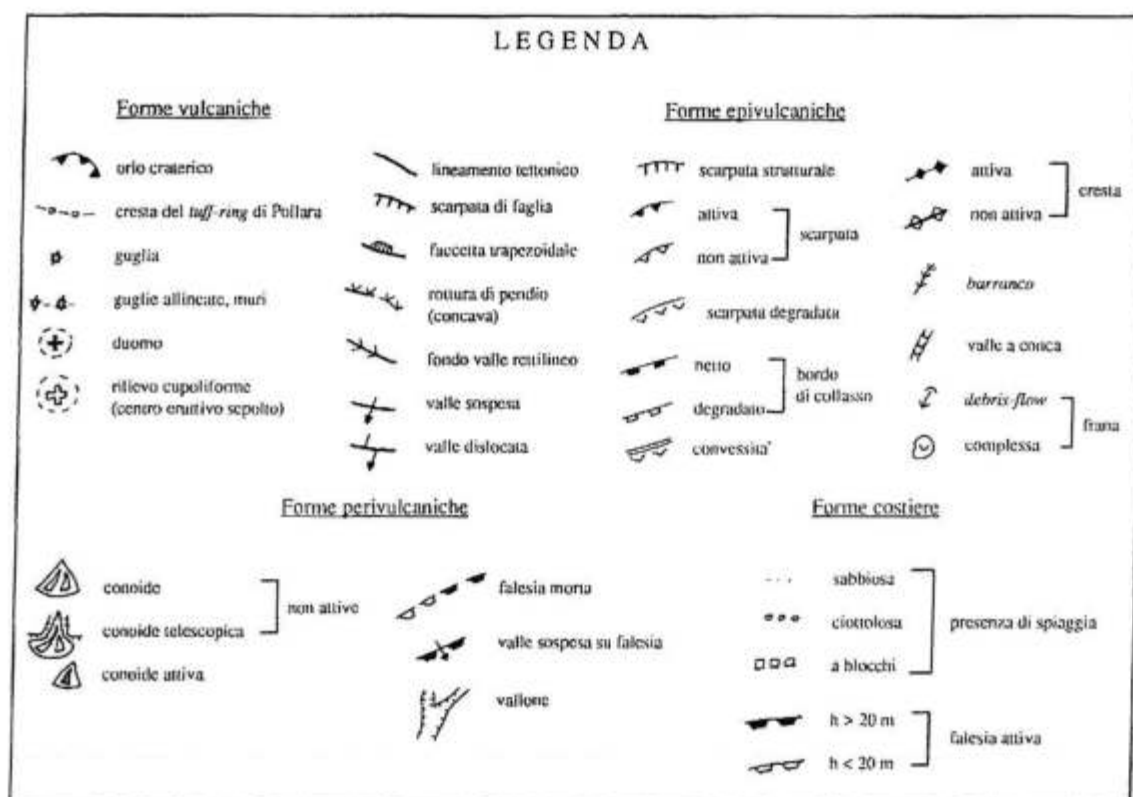
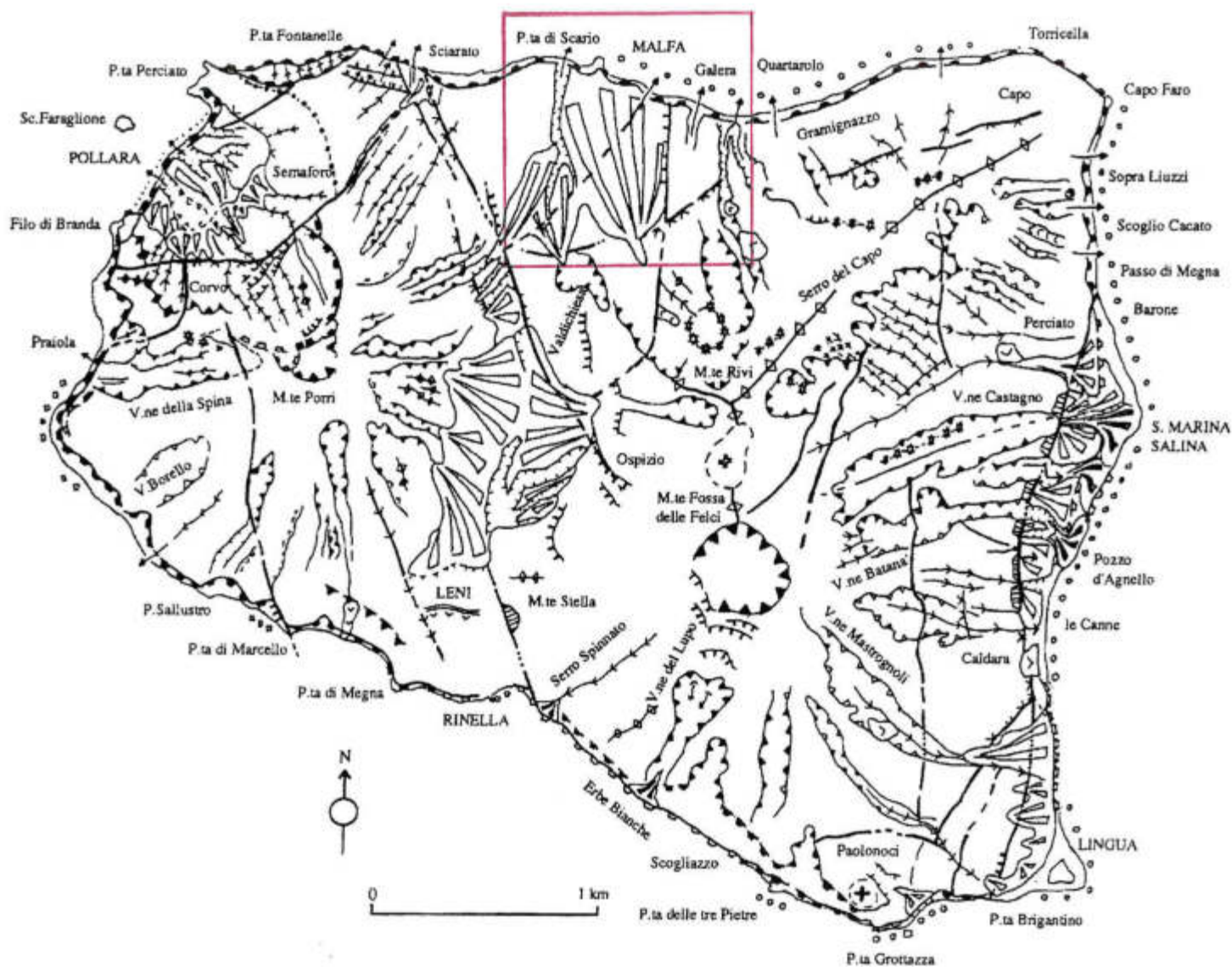


FIG. 3.9 - CARTA GEOMORFOLOGICA SCHEMATICA DELL'ISOLA DI SALINA
(da Critelli et alii, 1993)

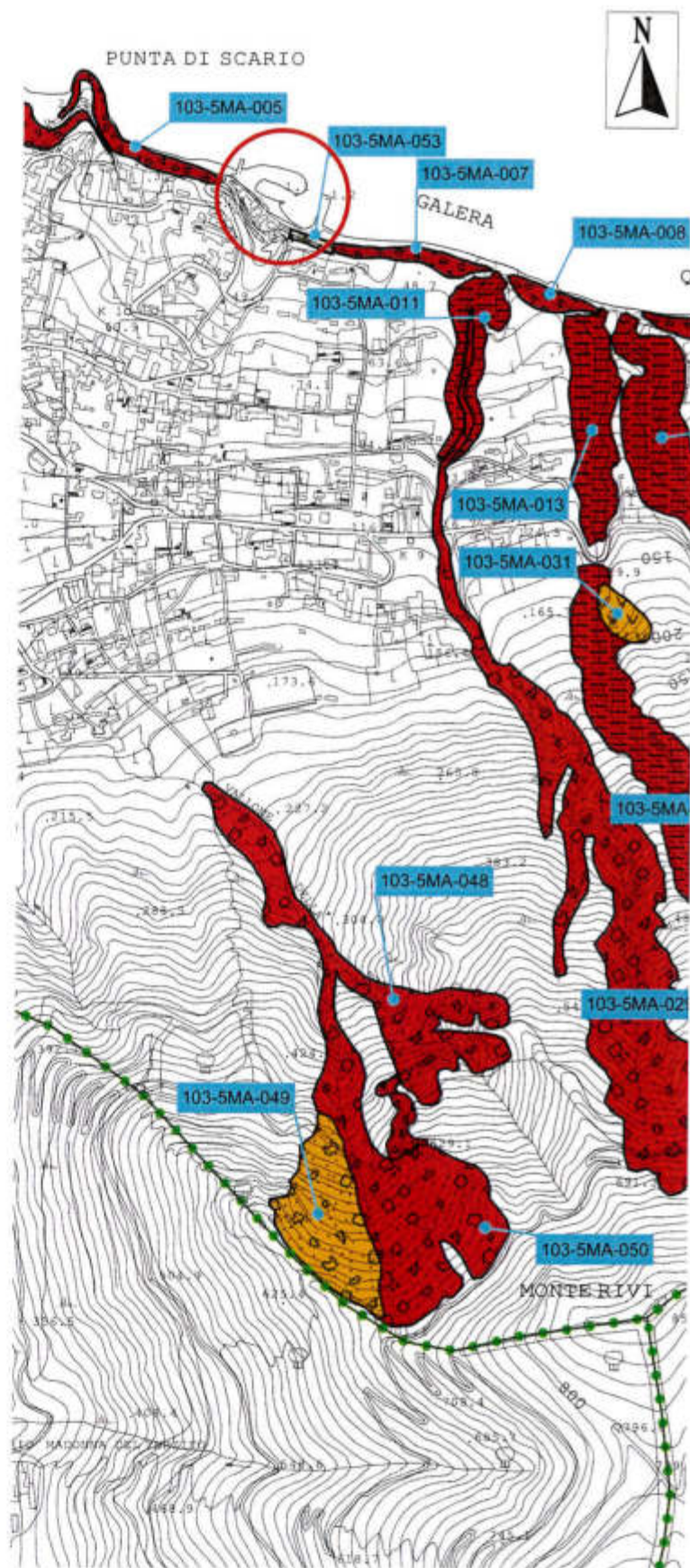
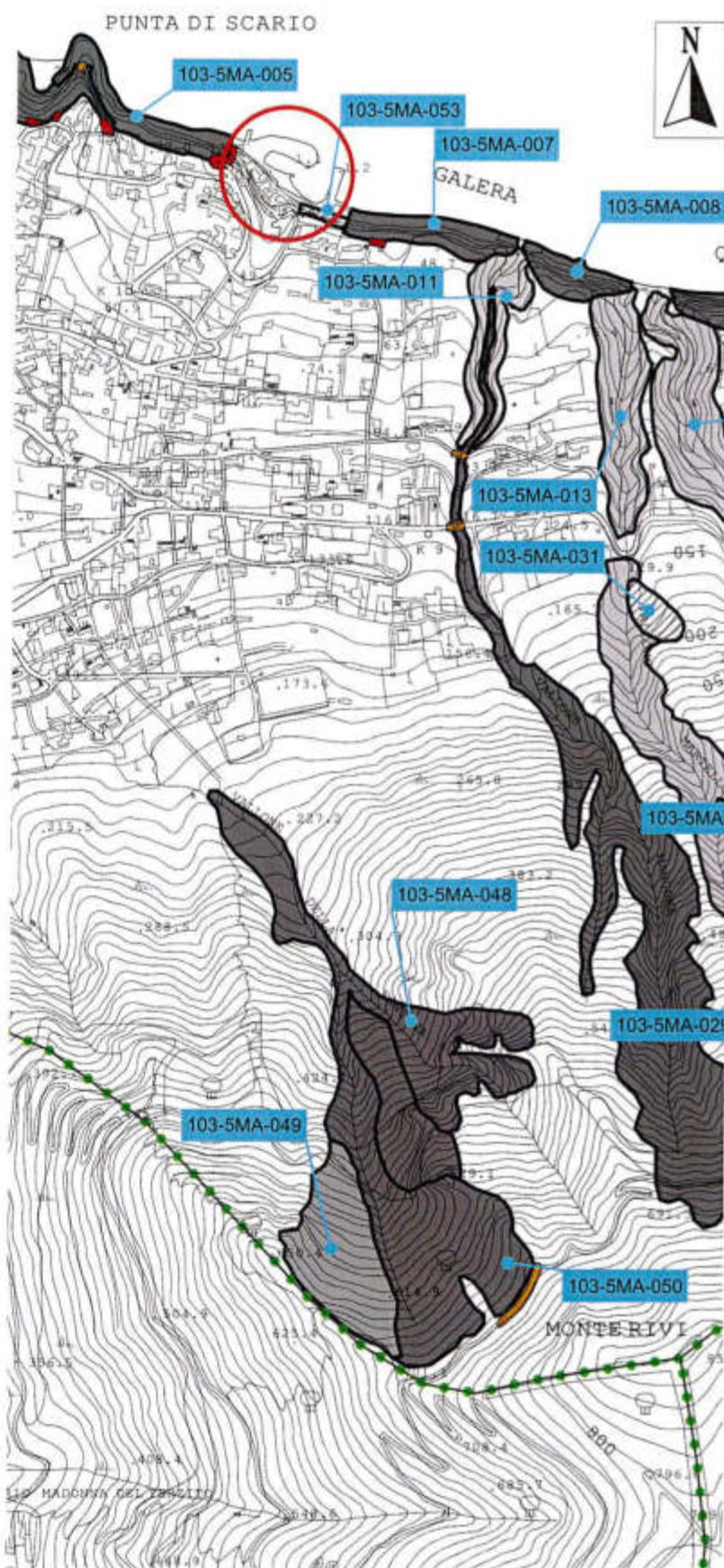


FIG. 3.10 - STRALCIO DELLA CARTA DEI DISSESTI ALLEGATA AL P.A.I. (scala 1:10.000)



Localizzazione dell'area in esame



LEGENDA

LIVELLI DI PERICOLOSITA'



LIVELLI DI RISCHIO

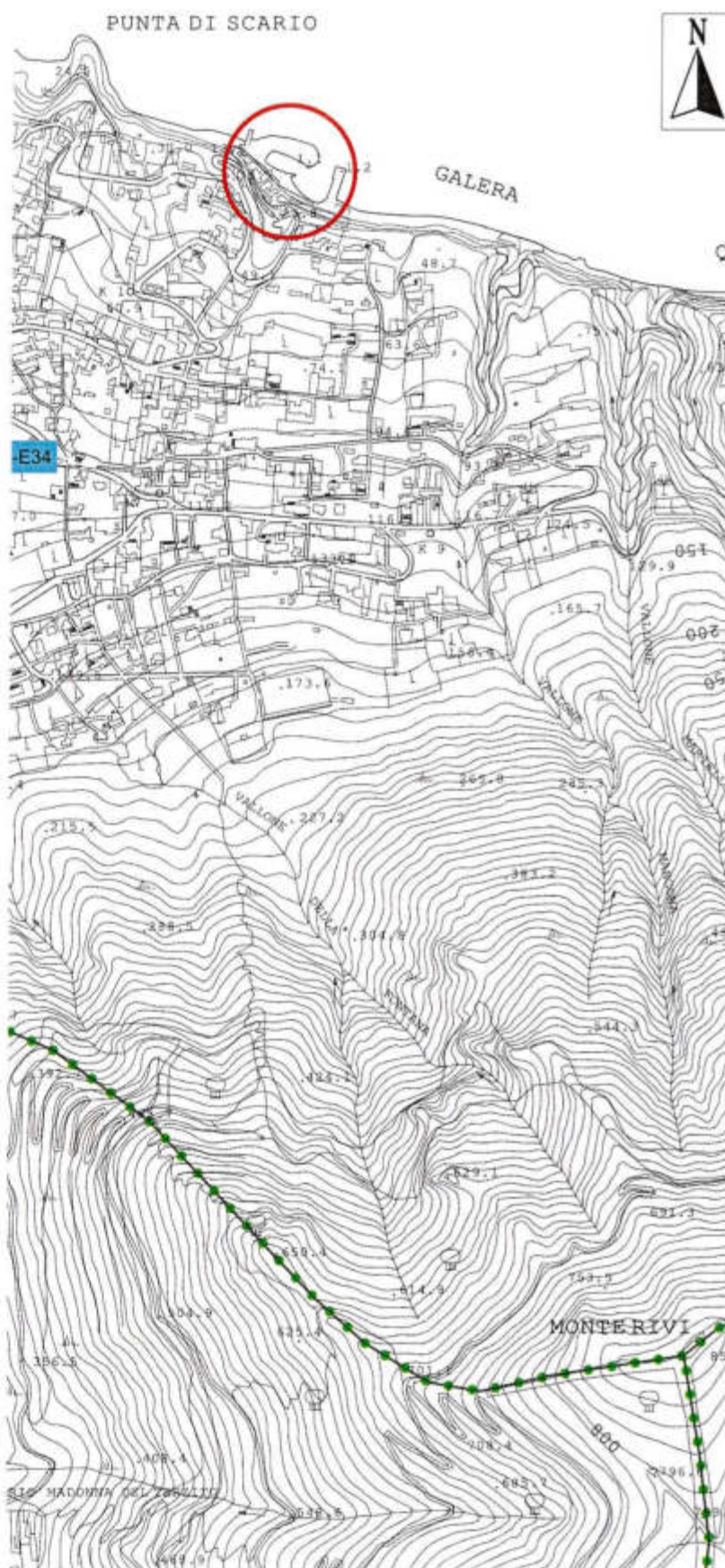


 Limite comunale

FIG. 3.11- STRALCIO DELLA CARTA DELLA PERICOLOSITA' E DEL RISCHIO GEOMORFOLOGICO ALLEGATA AL P.A.I. (scala 1:10.000)



Localizzazione dell'area in esame



LEGENDA

-  P1 Pericolosità bassa
-  P2 Pericolosità moderata
-  P3 Pericolosità alta
-  Sito d'attenzione

 Limite comunale

FIG. 3.12 - STRALCIO DELLA CARTA DELLA PERICOLOSITA' IDRAULICA ALLEGATA AL P.A.I.
(scala 1:10.000)



Localizzazione dell'area in esame

particolare a stimare, per la zona di Malfa, un indice di erosione praticamente trascurabile ($I_{er} = 2,6\%$).



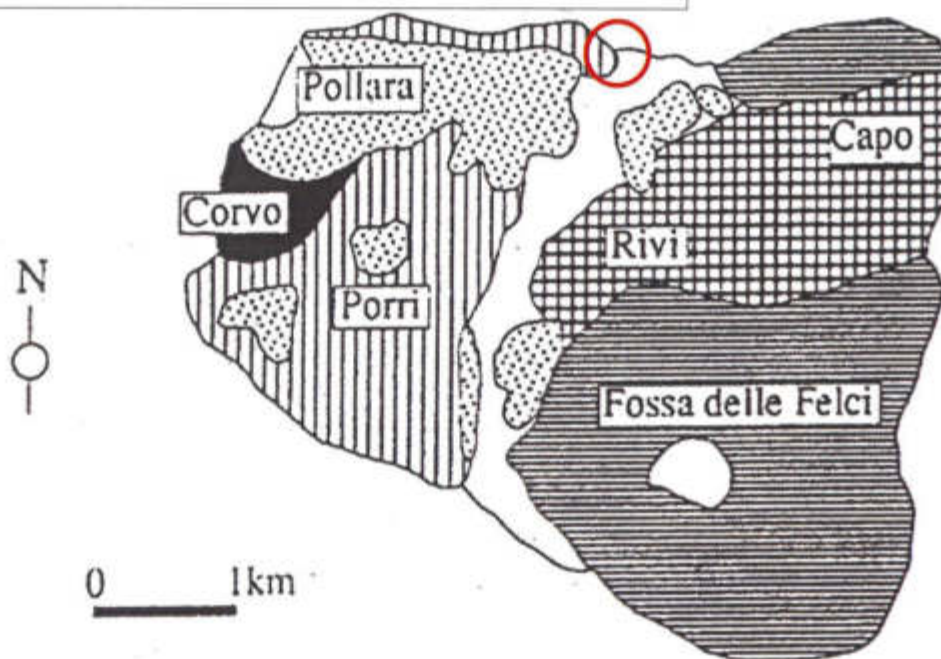
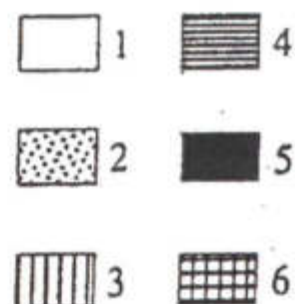
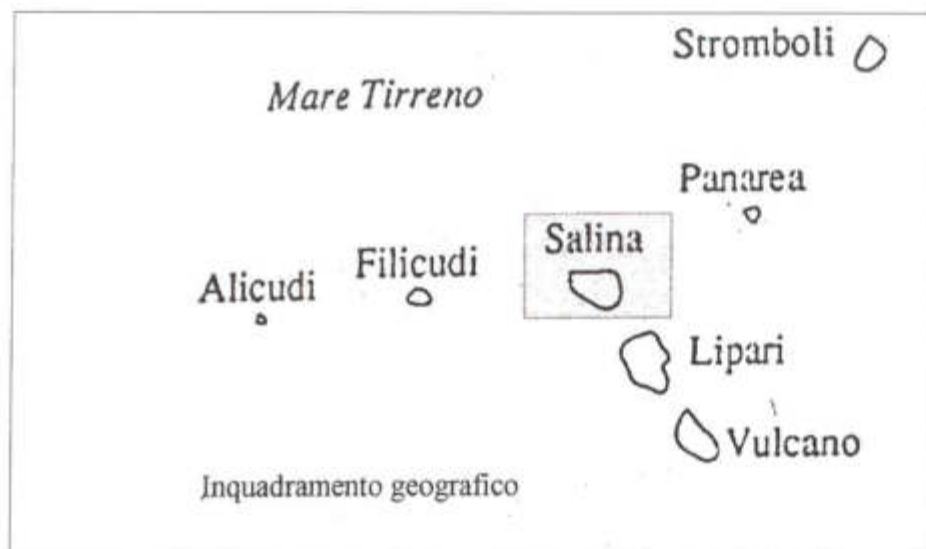
Panoramica sugli interventi di consolidamento eseguiti nell'area di Scalo Galera

3.3 - Lineamenti geologici e idrogeologici

Nel contesto geodinamico entro cui si inserisce l'arcipelago eoliano, già ampiamente descritto in precedenza in altra parte della presente relazione, l'assetto geologico dell'isola di Salina è derivato dal succedersi di eventi che, articolandosi nello specifico in tre stadi evolutivi a partire da circa 500 ka B.P., hanno determinato la messa in posto di prodotti lavici e piroclastici ad affinità calc-alcalina e calc-alcalina ricca in potassio, con composizioni variabili da termini basaltici fino a riolitici.

L'attività magmatica, in questo caso, ha portato all'individuazione di due edifici vulcanici, separati da un'area poco elevata orientata in direzione N-S, localizzati rispettivamente nei settori sud-orientale (**Monte Fossa delle Felci**) ed occidentale dell'isola (**Monte dei Porri**).

Nell'ambito del territorio preso in esame, in particolare, le strutture vulcaniche più antiche, oggi quasi totalmente smantellate, sono ubicate nella zona nord-orientale (**Complesso Rivi-Capo**) ed in quella occidentale (**Vulcano del Corvo**), mentre nell'area nord-occidentale dell'isola si individua una struttura vulcanica riferibile ad un evento esplosivo che è rappresentata dal **Cratere di Pollara** (cfr. Fig. 3.13 – Schema geologico semplificato dell'isola di Salina).



LEGENDA

- 1 - Depositi piroclastici ed epiclastici indifferenziati;
- 2 - Prodotti del Centro di Pollara;
- 3 - Prodotti del Monte dei Porri;
- 4 - Prodotti del Monte Fossa delle Felci;
- 5 - Prodotti del Vulcano del Corvo;
- 6 - Prodotti del Complesso Rivi-Capo.

 Localizzazione dell'area in esame

FIG. 3.13 - SCHEMA GEOLOGICO SEMPLIFICATO DELL'ISOLA DI SALINA
(da Critelli et alii, 1993)

Fra gli edifici vulcanici più antichi sopra citati, quelli di Capo-Rivi e Corvo presentano nello specifico una composizione petrografica più omogenea, simile al basalto ed appaiono in parte occultati dalle lave e dai depositi piroclastici dei vulcani più recenti di Fossa, dei Porri e di Pollara, caratterizzati invece da una composizione andesitica e dacitica.

Più in dettaglio, il settore settentrionale dell'isola di Salina entro cui si individua l'area oggetto degli interventi risulta costituito da una successione di colate laviche e di depositi piroclastici pertinenti agli edifici vulcanici del Capo, di Monte del Porri e dell'Apparato di Pollara. In questa parte del territorio insulare, la serie stratigrafica locale legata all'individuazione dei suddetti edifici vulcanici comprende, dall'alto verso il basso (cfr. **Fig. 3.14 - Carta geologica in scala 1:10.000**):

- Apparato di Pollara
- Tufi di pomici bianche (TPP)
- Tufi basali (TBP)
- Apparato di Monte del Porri
- Colate laviche (LP)
- Tufi grigi (TP)
- Apparato del Vulcano del Capo
- Colate laviche (LC)
- Prodotti prevalentemente lavici dei centri eruttivi primari (PLP)

Questi litotipi, nel loro complesso, vengono di seguito descritti a partire dal termine più antico fino a quello più recente:

A) Apparato del Vulcano del Capo

I litotipi appartenenti all'apparato del Vulcano del Capo sono in prevalenza costituiti da depositi di tufi e piroclastiti, non affioranti nell'area cartografata e subordinatamente colate laviche (LC) alterate e degradate. I depositi piroclastici, generalmente sciolti in superficie,

LEGENDA

- AL - Alluvioni recenti e depositi di spiaggia
- TPP - Tufi di pomici bianche del Cratere di Pollara
- TBP - Tufi basali di Pollara
- LP - Colate laviche del Monte dei Porri
- TP - Tufi grigi del Porri
- LC - Lave del Vulcano del Capo

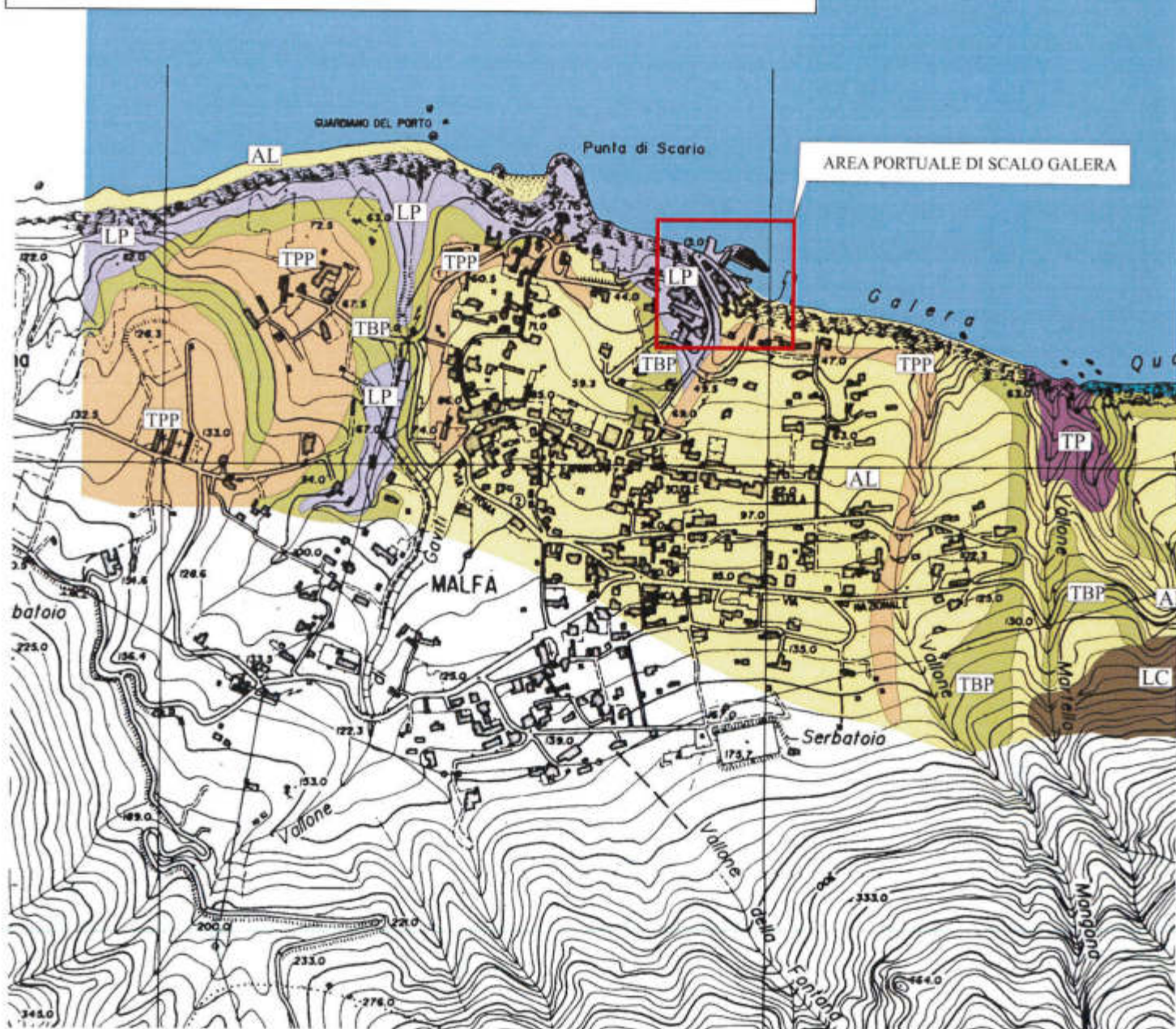


FIG. 3.14 - CARTA GEOLOGICA CON UBICAZIONE DELL'AREA DI PROGETTO (scala 1:10.000)

appaiono ben conservati e talora ben cementati all'interno dello stesso complesso litologico. Presentano inoltre spessori generalmente modesti e poggiano su un insieme di vulcaniti laviche, appartenente al ciclo eruttivo degli edifici antichi. Per quanto attiene sempre alle colate laviche (LC) queste si presentano totalmente degradate in superficie e spesso ricoperte da un esiguo spessore di terreno agrario e di alterazione.

B) Apparato del Monte dei Porri

Le vulcaniti del Monte dei Porri denominati con la sigla (LP) sono costituite in larga parte, da colate laviche (L) con intercalati depositi da caduta e da correnti piroclastiche (P). Affiorano nella falesia costiera a Nord dell'abitato di Malfa e costituiscono interamente il promontorio di Punta di Scario. Si tratta di lave di aspetto massivo, a tratti molto fratturate, di colore grigiastro che assumono, talora, una colorazione bruno-rossiccia per l'alterazione. Le superfici di fratturazione non presentano una direzione preferenziale. Petrograficamente le lave possono essere classificate come basaltico- andesitiche.

C) Apparato di Pollara

Le vulcaniti di Pollara rappresentano i prodotti eruttivi sia esplosivi che effusivi emessi durante le fasi vulcaniche più recenti. Costituiscono un edificio vulcanico allo stato attuale parzialmente smantellato, che si è impiantato su relitti di antichi apparati eruttivi. In particolare nell'area in studio affiorano i tufi di pomice bianche contraddistinti dalla sigla (TPP) e i tufi basali indicati con la sigla (TBP).

La stessa successione litostratigrafica così articolata comprende anche dei terreni di copertura più recenti rappresentati da depositi alluvionali (AL) e detriti di falesia (DT). I primi, in particolare, si ritrovano lungo le incisioni ed a ricoprire il terrazzo su cui è sito l'abitato di Malfa e danno luogo ad accumuli sciolti o scarsamente addensati, costituiti prevalentemente da una matrice limoso-sabbiosa con elementi di natura chiaramente vulcanica, a granulometria variabile e di forma

arrotondata a causa dell'azione del moto ondoso. I secondi, invece, si ritrovano alla base della falesia costiera che costituisce l'arenile di Punta di Scario e costituiscono degli accumuli di blocchi, anche di notevoli dimensioni, oltre che di ciottoli di natura lavica, crollati dalle pareti. La maggior parte di tali elementi, in quest'ultimo caso, soprattutto quelli di dimensioni minori, mostrano spigoli arrotondati dovuti all'elaborazione operata sempre da parte del moto ondoso.

Nell'ambito dello stesso territorio insulare, dal punto di vista idrogeologico, anche le caratteristiche di permeabilità e le modalità della circolazione idrica sotterranea sono strettamente legate alla natura litologico-tessiturale ed all'assetto giaciturale e strutturale dei terreni affioranti.

Nel caso delle rocce prettamente laviche, infatti, il tipo ed il grado di permeabilità sono fortemente influenzati dalla frequenza e dalla persistenza delle discontinuità presenti, originatesi in seguito a fenomeni di contrazione per raffreddamento e/o a *stress* tettonici.

In corrispondenza dei terreni vulcanoclastici, invece, il grado di permeabilità si presenta assai vario in funzione sia dello stato di addensamento, sia del livello di cementazione, nonché della granulometria. Ciò in relazione anche al fatto che si tratta molto spesso, come ad esempio per i depositi piroclastici, di corpi lenticolari che garantiscono, seppur in maniera articolata, una continua circolazione delle acque di infiltrazione. Il regime di queste ultime è peraltro strettamente legato alle caratteristiche ed all'andamento delle precipitazioni meteoriche in un contesto climatico temperato-mediterraneo, con piogge abbondanti e spesso concentrate in brevi periodi accompagnate da temperature basse variabili con l'altitudine nel semestre ottobre - marzo, che si alternano a piogge scarse associate a temperature elevate nel semestre aprile - settembre.

4. INDAGINI ESEGUITE

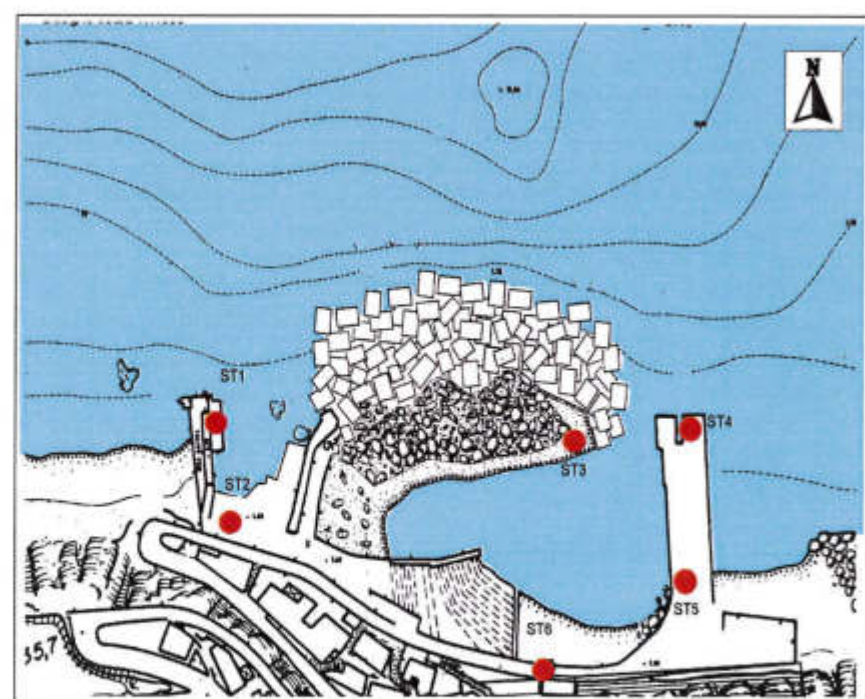
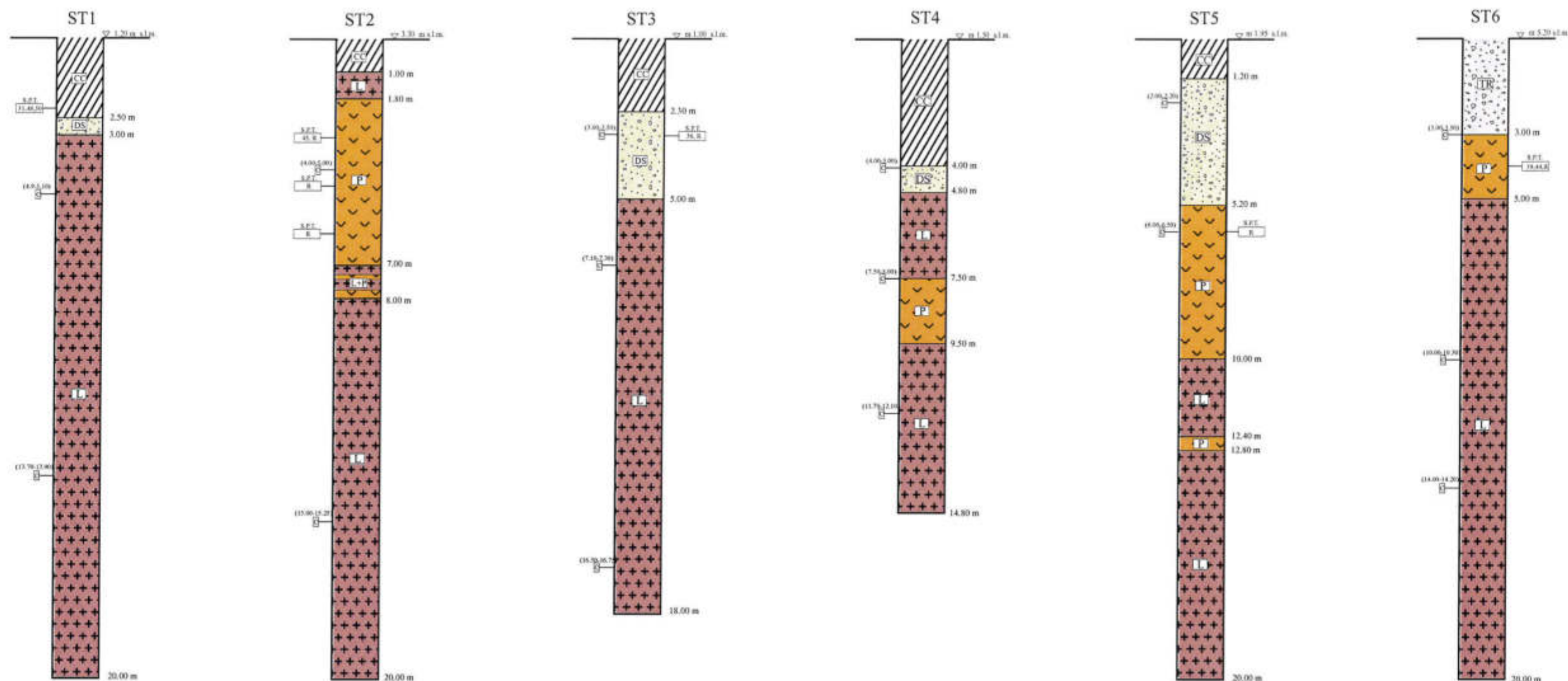
4.1 - Sintesi dei risultati della campagna di indagini geognostiche

Nel corso delle precedenti attività di progettazione richiamate in premessa, l'impresa Laudani - Fichera Pietro s.r.l. di Troina (EN), direttamente incaricata a seguito di una gara pubblica esperita dall'allora Ufficio PRUSST Valdemone - Comune di Randazzo - Ente promotore, ha eseguito una campagna di indagini geognostiche finalizzata alla verifica ed al riconoscimento dell'assetto geostatigrafico dei terreni costituenti sia i fondali immediatamente antistanti la linea di costa interessati dalla realizzazione delle opere previste, sia l'area a monte dello scalo portuale, in quest'ultimo caso anche ad integrazione dei dati ottenuti dai rilevamenti geologici di superficie¹⁷.

L'esame delle 6 verticali dei sondaggi meccanici eseguiti a rotazione ed a carotaggio continuo, per profondità comprese fra 14.80 e 20 metri dal piano campagna, ha evidenziato, in particolare, nell'area in esame, la presenza continua di un substrato costituito da lave di natura basaltico-andesitica (**L**), di aspetto massivo, talora scoriacee a vario grado di fratturazione, associate localmente a depositi piroclastici (**P**), variamente cementati e di colore rosso-nerastro, di varia granulometria con elementi lapidei dalla ghiaia ai blocchi. Tali rocce del substrato, nei tratti sottocosta, risultano localmente occultate da un coltre di depositi di spiaggia (**DS**) ben elaborati, costituiti da elementi di origine vulcanica e, più in superficie, da materiale di paraggio proveniente dalla edificazione dei moli e delle banchine esistenti, variamente sparso a causa delle mareggiate, rappresentato sia da conglomerato cementizio che da grossi blocchi di varia pezzatura (**CC**). Sempre nei tratti sottocosta sono stati individuati, a luoghi, materiali di riporto (**TR**) di taglia variabile, frammisti a sabbie variamente addensate sempre di natura vulcanica (cfr. **Fig. 4.1 - Colonne litostratigrafiche schematiche dei sondaggi geognostici eseguiti**).

Durante le suddette perforazioni sono state anche effettuate, complessivamente, distribuite a diverse profondità lungo tutte le verticali esplorate, n°7 prove penetrometriche dinamiche

¹⁷ Regione Siciliana, Comune di Malfa – *Lavori di riqualifica e di adeguamento delle opere foranee, delle banchine, dello scalo di alaggio e dei fondali dell'approdo di Scalo Galera* – Progetto definitivo aggiornato ai sensi della L.R. del 2 agosto 2002 - **Relazione Geologica – Risultati delle indagini geognostiche e geofisiche** (Aprile 2004).



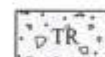
STRALCIO PLANIMETRICO SCHEMATICO CON UBICAZIONE DEI SONDAGGI

LEGENDA

Terreni di copertura



- Conglomerato cementizio costituente i moli e le banchine esistenti



- Terreni di riporto costituiti da materiale vulcanico di varia pezzatura, frammisto a sabbie vulcaniche variamente addensate



- Depositi di spiaggia costituiti da materiale vulcanico, di colore dal grigio-nerastro al bruno rossastro, bene elaborato, con sparsi elementi lapidei di varie dimensioni (bombe, lapilli) e ciottoli

Terreni del substrato



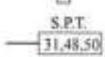
- Lave basaltico-andesitiche, di aspetto massivo, talora scoriacee, di colore variabile dal grigio nerastro al rossastro, a tratti fratturate



- Depositi piroclastici, variamente cementati, di colore rossastro-nerastro, granulometricamente assortiti ed elementi lapidei di dimensioni variabili dalla ghiaia ai blocchi) a spigoli generalmente vivi, di spessore decimetrico e localmente metrico.



- Campioni prelevati



- S.P.T. (Standard Penetration Test)

FIG. 4.1 - COLONNE LITOSTRATIGRAFICHE SCHEMATICHE DEI SONDAGGI GEOGNOSTICI ESEGUITI

da: Adeguamento e riqualificazione delle opere foranee, dello scalo di alaggio e dei fondati dell'approdo di Scalo Galera - Progetto Definitivo - Aprile 2004

discontinue di tipo SPT (*Standard Penetration Test*) di cui 5 eseguite nei depositi piroclastici (**P**) e 2 nei depositi (**DS**). Nel corso sempre degli stessi sondaggi geognostici, oltre alle suddette prove geotecniche in sito, andate peraltro tutte a rifiuto, sono stati pure prelevati, nell'insieme, n°15 campioni da sottoporre successivamente ad analisi e prove geotecniche di laboratorio. Su n°6 di questi ultimi, in particolare, costituiti da rocce sciolte, è stata determinata la composizione granulometrica, risultata prevalentemente rappresentata da sabbia con ghiaia e in un solo caso da sabbia ghiaiosa, mentre sui restanti n°9 campioni di roccia lavica basaltico-andesitica (**L**), confezionati direttamente dal prodotto di carotaggio, sono state eseguite n°10 prove a compressione uniassiale semplice, che hanno restituito valori di resistenza alla rottura compressione semplice fra 41.8 e 151.5 MPa.

In riferimento allo sviluppo ed ai risultati ottenuti dalle indagini geognostiche e geotecniche sin qui brevemente descritte, sono state anche riportate, per completezza di esposizione, in **Appendice A** alla presente relazione, le stratigrafie di dettaglio delle perforazioni eseguite unitamente alla documentazione fotografica delle corrispondenti postazioni e cassette catalogatrici. In **Appendice B** al testo è stata invece allegata la nota tecnica relativa alle analisi e prove geotecniche di laboratorio redatta dalla ditta esecutrice Metro s.r.l. di Palermo¹⁸.

4.2 - Sintesi dei risultati delle campagne di indagini subacquee

A supporto delle prime fasi di progettazione dei lavori di riqualifica e di adeguamento delle opere foranee, delle banchine, dello scalo di alaggio e dei fondali dell'approdo di Scalo Galera, espletate nel periodo 2000 - 2003, è stato eseguito, dalla *Geol'arch* di Palermo, un rilievo geologico e geomorfologico subacqueo nell'area a mare antistante l'insediamento portuale considerato.

Successivamente nell'ambito del progetto esecutivo del 1° stralcio funzionale relativo sempre agli stessi lavori, la già citata impresa Laudani - Fichera s.r.l. di Troina (EN), ha provveduto ad effettuare, in un periodo compreso fra il Dicembre 2003 ed il Gennaio 2004, delle prospezioni mediante *Subbottom Profiler* finalizzate alla caratterizzazione geo-bati-miorfologica sempre dei

¹⁸ Regione Siciliana, Comune di Malfa – Lavori di riqualifica e di adeguamento delle opere foranee, delle banchine, dello scalo di alaggio e dei fondali dell'approdo di Scalo Galera – Prove di laboratorio su campioni di roccia – Laboratorio Metro (Marzo 2004).

fondali prospicienti il porto di Malfa.

L'insieme dei risultati ottenuti da questa serie di rilievi, in particolare, ha evidenziato sostanzialmente, per questi ultimi, una morfologia irregolare per la presenza sia di materiali di paraggo variamente sparsi provenienti dalla mantellata esistente posta a protezione del molo esistente, sia di affioramenti di rocce laviche basaltico-andesitiche (L) associati a blocchi e massi della stessa natura derivanti dai tratti di falesia insistenti lungo tutto il perimetro costiero entro cui si individua l'approdo di Scalo Galera. Questi affioramenti, generalmente oltre l'isobata -16 m, sono apparsi variamente ricoperti da fondali mobili, sciolti o poco addensati, comprendenti blocchi, ciottolame polidimensionale e pietrame di varia pezzatura, costituiti sempre da elementi di natura vulcanica.

Tali condizioni complessive dei fondali dello specchio acqueo antistante l'area portuale in esame, sono state anche riscontrate nel corso delle più recenti indagini morfo-batimetriche e morfologico-subacquee effettuate, nell'aprile 2019, con un ecoscandaglio multifascio, un sonar a scansione laterale e riprese fotografiche, nell'ambito appunto del progetto esecutivo dei lavori di 1° stralcio e di completamento delle strutture costituenti l'approdo di Scalo Galera. In quest'ultimo caso, nello specifico, i rilievi eseguiti, finalizzati anche alla mappatura delle locali biocenosi sottomarine, hanno evidenziato come i fondali, nell'ambito dell'area portuale, siano caratterizzati dalla presenza di ciottoli e massi artificiali, nonché di una scarsa vegetazione; inoltre come tale aspetto caratterizzi gli affioramenti rocciosi sottomarini di natura lavica fino alle isobate -14/-15 m, laddove invece i fondali risultano costituiti da substrati molli di sabbie nere grossolane, con prateria a fanerogame marine (*Posidonia oceanica*) diffuse a partire dall'isobata di -16 metri.



Blocchi lavici e massi artificiali riscontrati nei fondali dello specchio acqueo antistante l'approdo di Scalo Galera

4.3 - Sviluppo e risultati delle indagini per la caratterizzazione sismica dei terreni

Ad integrazione dei dati e delle informazioni ricavate dalla realizzazione dei sondaggi geognostici e delle prove geotecniche in sito ed in laboratorio, sono state altresì eseguite delle prospezioni geofisiche mirate alla classificazione dei terreni di fondazione della struttura portuale alla luce delle recenti “*Norme tecniche per le costruzioni*” di cui al D.M. del 17 gennaio 2018 (NTC2018).

Nelle pertinenze dell’approdo di Scalo Galera, in particolare, sono state effettuate (cfr. Fig.

4.2 - Stralcio planimetrico schematico con ubicazione delle indagini geofisiche):

- n°1 prova di sismica attiva MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves), finalizzata alla determinazione del profilo sismostratigrafico delle Vs;
- n°2 misure di microtremore sismico ambientale mediante la tecnica di sismica passiva a stazione singola, allo scopo di determinare sia il periodo fondamentale di risonanza per fornire una valutazione dei possibili effetti di amplificazione delle sollecitazioni dinamiche in funzione delle frequenze, sia di integrare a maggiore profondità il profilo sismostratigrafico delle onde S, mediante inversione della curva dei rapporti spettrali delle componenti del moto (HVSr).

In merito a questo ultimo aspetto, in **Appendice C e D** alla presente relazione sono state allegate, rispettivamente, come parte integrante del testo, i seguenti elaborati relativi alle suddette indagini consistenti in:

- n°2 tavole grafiche con i dati (sismogramma), le analisi spettrali e i risultati dell’inversione per la prova MASW;
- alcune tavole grafiche con le funzioni di amplificazione relative ai rapporti spettrali tra le componenti orizzontali e quella verticale (HVSr - Metodo Nakamura) e le ampiezze spettrali delle singole componenti del “noise” sismico, oltre all’elaborato grafico del profilo di Vs mediante l’inversione del rapporto H/V.

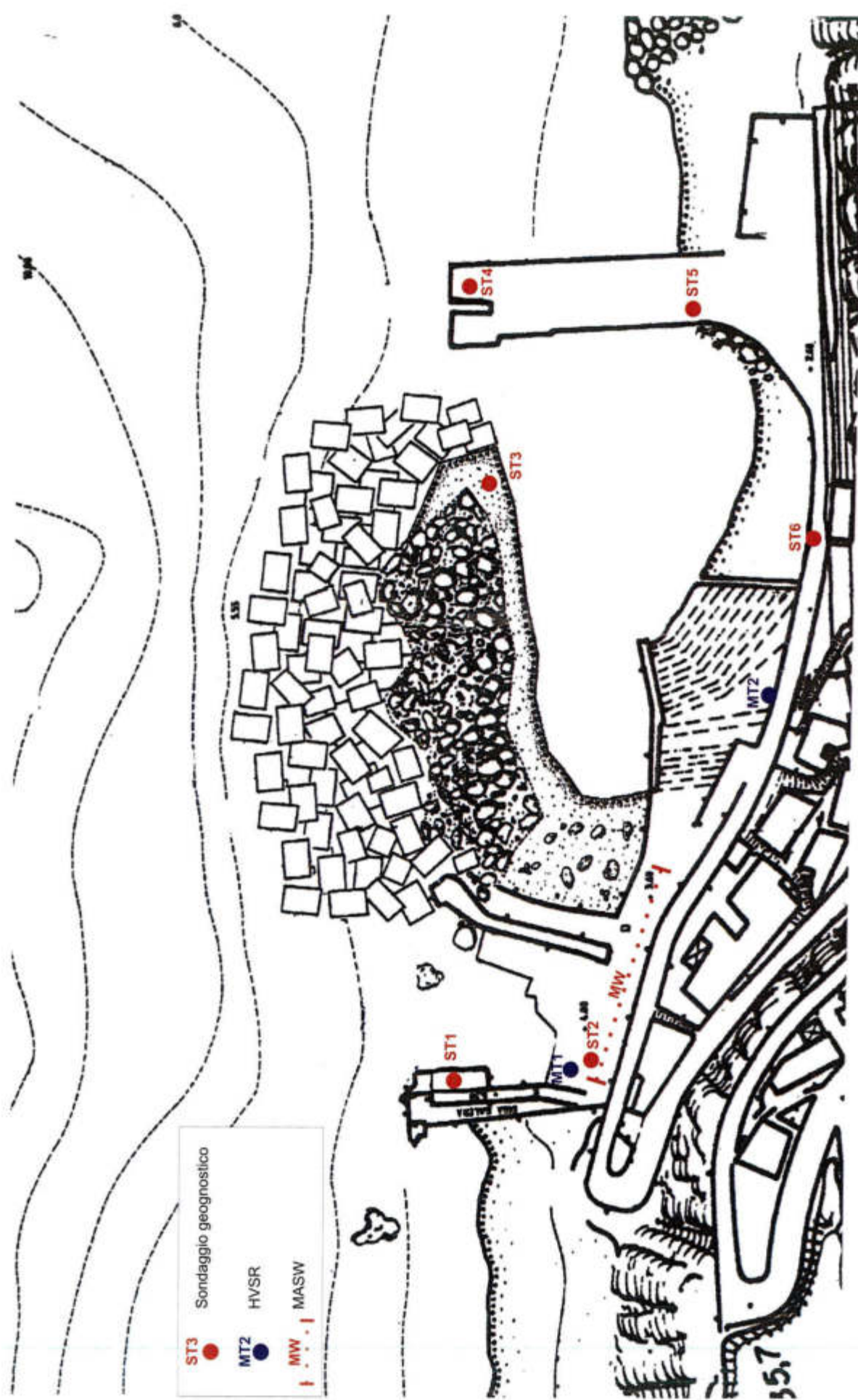


FIG. 4.2 - STRALCIO PLANIMETRICO SCHEMATICO CON UBICAZIONE DELLE INDAGINI GEOFISICHE ESEGUITE

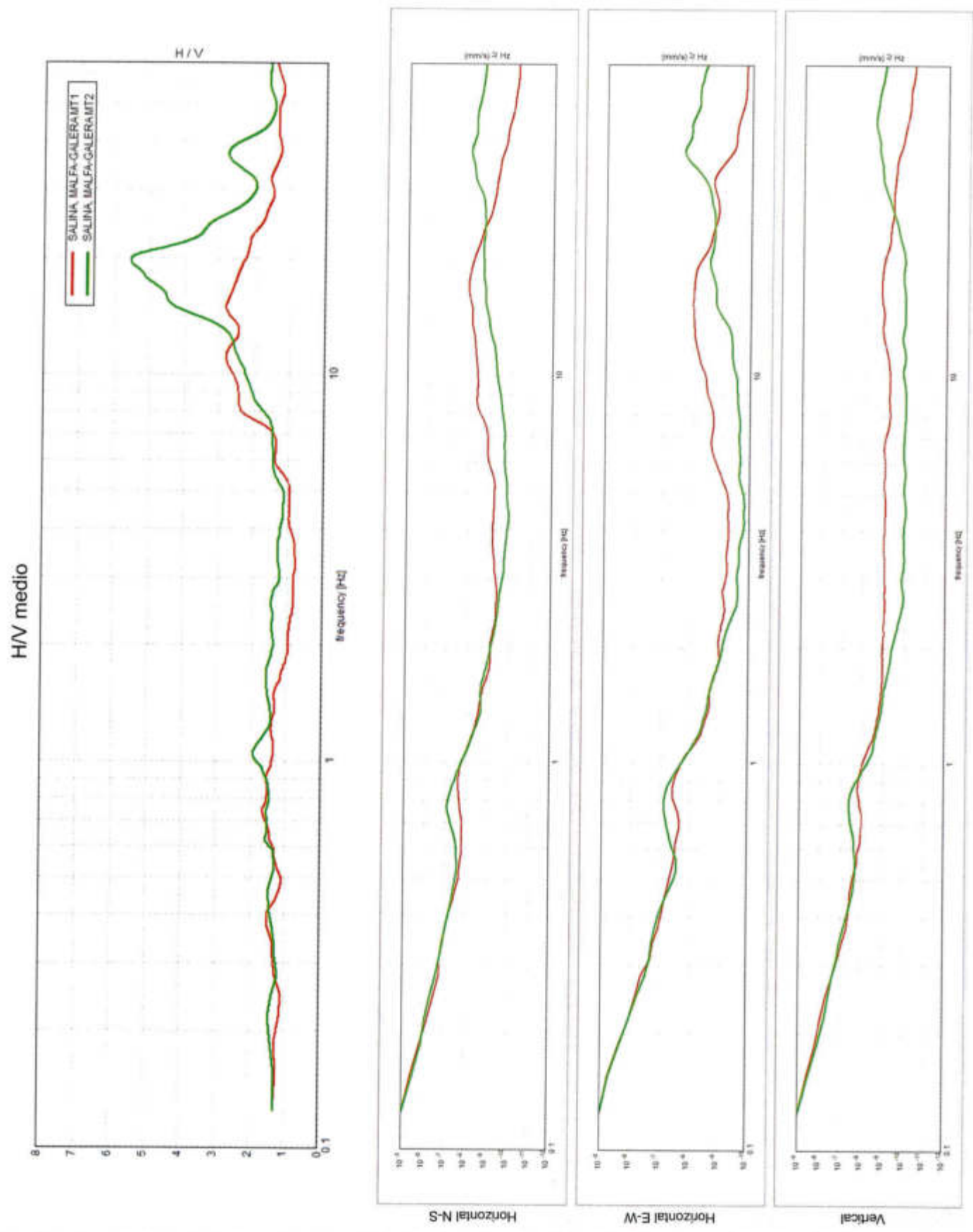


FIG. 4.3 - ELABORATI GRAFICI RIASSUNTIVI DELLE ANALISI SPETTRALI (H/V MEDIO E PSD DELLE TRE COMPONENTI DEL MOTO) RELATIVI ALLE MISURE DI MICROTREMORE ESEGUITE

MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) – Metodi di acquisizione e di elaborazione dati

L'indagine microsismica MASW è stata acquisita utilizzando una strumentazione multicanale rappresentata da un sismografo tipo DOREMI della Sara Instruments, dotata di microprocessore e convertitore A/D a 64 bit, caratterizzata da un'alta frequenza di campionamento (da 100 a 1.000 microsec), da una lunghezza record dati da 50 ms a 60 s, nonché da sistemi di acquisizione ad incremento di segnale, preview, possibilità di congelamento delle tracce, sistema di filtri per la riduzione del noise, sistema di amplificazione a virgola flottante, AGC, ecc.. Al medesimo apparato è stata collegata una catena geofonica dotata di sensori di tipo verticale a 4.5 Hz ad alto guadagno, posti a distanza reciproca regolare. L'energizzazione del terreno è stata ottenuta tramite una massa da 10 kg battente verticalmente su una piastra metallica di accoppiamento al suolo. Al fine di ottimizzare il rilievo delle onde superficiali di Rayleigh, sono state utilizzate le geometrie e i parametri di acquisizione, schematizzati nella seguente **Tabella II**.

Prova	Lunghezza stesa (m)	Spaziatura geofoni (m)	Offset min/max (m)	Campionamento / Tempo acquisizione (s)	N. tracce
MASWI	40	2.0	2.0 / 6.0	0.00025 / 2	20

Tabella II – Geometrie e parametri di acquisizione dell'indagine MASW

Nel corso della prova sono state effettuate n°2 acquisizioni, con numerose ripetizioni (5 battute), a distanza differente per poi scegliere quella di migliore qualità¹⁹. I dati acquisiti, che consistono nelle registrazioni dei treni d'onda a partire dall'istante di energizzazione, per un intervallo di tempo di 2 s, sono stati elaborati operando mediante analisi delle velocità di fase della porzione di segnale relativo alle onde superficiali di Rayleigh. Per il trattamento ed elaborazione dei dati è stato utilizzato uno specifico software commerciale (WinMasw) che consente di gestire il sismogramma digitale, selezionare le tracce utili, eseguire l'analisi spettrale, individuare le curve di dispersione delle onde di superficie ed effettuare le procedure di inversione per l'interpretazione in

¹⁹ L'offset migliore è risultato essere quello pari a 6.0 m, utilizzando come sismogramma, la sommatoria delle tracce delle diverse battute.

termini di modello sismostratigrafico di Vs. In particolare, per l'inversione dei dati, il software applica metodi euristici rappresentati da algoritmi genetici che meglio gestiscono la soluzione di problemi multimodali, come ad esempio quello di derivare i parametri di un modello sismostratigrafico in funzione della curva di dispersione sperimentale delle onde di Rayleigh. Uno degli aspetti critici nella utilizzazione dei dati ricavati da prove sismiche per onde superficiali (attive e/o passive) per scopi ingegneristici è infatti dato dalla non-unicità della soluzione. Diverse combinazioni dei parametri di modello possono essere infatti associate a curve di dispersione molto simili e praticamente equivalenti rispetto ai dati sperimentali disponibili. L'utilizzo di metodi di inversione deterministici con ricerca locale del minimo, quale ad esempio il metodo dei minimi quadrati, portano all'individuazione di un unico profilo di Vs, spesso fortemente condizionato dalla scelta del modello iniziale. I metodi euristici non richiedono la definizione di un modello di partenza, ma è sufficiente definire un intervallo di valori per ogni parametro (spazio dei parametri) all'interno del quale vengono valutate le possibili soluzioni. Lo scopo dell'intera procedura è identificare il modello la cui curva di dispersione meno si scosta dai dati osservati. Tale modello sarà evidentemente caratterizzato dal minor errore di adattamento (misfit o funzione obiettivo), che in questo caso è rappresentato dalla deviazione standard tra le velocità di fase osservate e calcolate. Oltre al modello con la migliore "funzione obiettivo", è però anche possibile definire un modello medio "pesato" sulla base del valore della stessa. Tale modello medio è spesso più stabile e quindi affidabile e offre anche una stima delle deviazioni standard dei parametri considerati. L'elevato numero di modelli valutati (durante una procedura euristica) consente inoltre la valutazione statistica della significatività della soluzione.

Con le tecniche descritte sono stati analizzati i dati MASW i cui risultati, come già anticipato, sono stati riportati nelle relative tavole grafiche in allegato alla presente relazione.

Per quanto attiene a tali elaborati, in particolare, si può osservare che nella prima tavola grafica sono raffigurati il sismogramma con le tracce normalizzate, lo spettro di velocità e la colonna sismostratigrafica del modello medio finale (valore ricavato da 15 dati), mentre nella seconda sono rappresentati graficamente i risultati dell'inversione della curva di dispersione (spettro

di velocità con “picking” e modello migliore e medio; evoluzione dell’errore di adattamento, profilo verticale di Vs con tracciati i diversi modelli e lo spazio di ricerca) con evidenziati i valori di **Vseq** del modello medio. Da segnalare che, prima di effettuare il picking della curva spettrale e procedere all’inversione, è stata effettuata una modellazione diretta tenendo in conto anche i dati geologico-stratigrafici e geotecnici disponibili per l’area in studio. Questi modelli sismostratigrafici diretti sono stati utilizzati come base per selezionare gli intervalli di ricerca dei valori dei parametri geofisici.

Dall’osservazione delle tracce sismiche (sismogramma) si nota una discreta buona qualità del segnale sismico, con evidenziato il fenomeno della dispersione delle onde superficiali. L’osservazione dello spettro di velocità-frequenza mostra, a tratti, chiaramente lo sviluppo del modo fondamentale con amplificazioni diffuse e indeterminazioni più elevate nella zona delle frequenze più basse (V. Tav. 1 allegata in **Appendice C**).

Per l’elaborazione e interpretazione dei dati sismici è stato scelto un modello a due strati, con errore intorno a 15 (modello migliore), ben correlato stratigraficamente con le informazioni litostratigrafiche, come si può osservare dai risultati dei modelli finali interpretativi migliore e medio riportati nella seguente **Tabella III**.

<i>Modello Migliore</i>			<i>Modello Medio (15 dati)</i>		
Prof. letto (m)	Spessore (m)	Vs (m/s)	Prof. letto (m)	Spessore (m)	Vs (m/s)
5.3	5.3	402	5.2	5.2	402
---	---	1007	---	---	1017

Tabella III – Risultati dell’inversione dei dati MASW

In sintesi, nel modello interpretativo è stata rilevata una sismostratigrafia caratterizzata da un livello superficiale di copertura al di sopra del substrato rigido caratterizzato da velocità sismiche delle onde di taglio superiori a 800 m/s.

Analizzando i risultati dell’interpretazione in dettaglio possono trarsi le seguenti considerazioni:

- il primo livello, con velocità sismica media delle onde di taglio intorno a 400 m/s, è rappresentativo del massetto di pavimentazione e dei livelli piroclastici, parzialmente alterati, delle vulcaniti del Vulcano dei Porri;
- a partire dalla profondità di circa -5 m p.c., si rilevano valori di V_s medi superiori a 1.000 m/s che contraddistinguono il substrato rigido costituito dalle lave basaltico-andesitiche di aspetto massivo del Vulcano dei Porri, con le caratteristiche litotecniche tipiche delle rocce lapidee tenaci.

E' quindi possibile utilizzare i dati sismostratigrafici del modello migliore e medio ricavati dall'interpretazione della prova MASW per calcolare le stime delle velocità equivalente delle onde di taglio, definita dalla seguente relazione:

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

dove h_i e V_i indicano lo spessore (in m) e la velocità delle onde di taglio dello strato i -esimo, per un totale di N strati presenti al di sopra del tetto del substrato rigido ($V_s > 800$ m/s) riscontrato alla profondità H . In questo caso, essendo la potenza dello strato superficiale al di sopra del substrato rigido superiore a 3 m, si pone la profondità H pari allo spessore della copertura, secondo le indicazioni della normativa suddetta.

I valori di **V_{seq}** , ricavati dal profilo di V_s del modello medio e migliore sono risultati pari a **402 m/s** ed hanno condotto a classificare i litotipi del substrato geologico locale, ai sensi delle **NTC2018**, come appartenenti alla categoria **B** dei suoli di fondazione (*"Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e valori di velocità equivalente V_{seq} compresi tra 360 m/s e 800 m/s"*).

Per quanto riguarda la valutazione della categoria di sottosuolo e le correlazioni stratigrafiche, si segnala che i fondamenti teorici del metodo MASW fanno riferimento ad un semispazio stratificato con strati paralleli e orizzontali, quindi il profilo stratigrafico delle onde di taglio (V_s) è relativo ad un dato mediato, riferito per convenzione al centro dello stendimento, che non tiene conto di eventuali eterogeneità laterali nelle caratteristiche elasto-dinamiche e della presenza di pendenze significative. In funzione della frequenza più bassa rilevata nelle curve di dispersione (circa 20 Hz) si ritiene inoltre che le informazioni ricavate siano riferite ad una profondità di indagine non superiore a 15 m.

Misure di noise sismico-ambientale (HVSr) - Analisi dei risultati

Per le registrazioni del “noise” è stata utilizzata una stazione sismica digitale compatta e leggera, equipaggiata con sismometro a banda larga e ad alta sensibilità (Tromino – Micromed S.p.a.), costituito da una terna di velocimetri a breve periodo smorzati criticamente. Le caratteristiche tecniche della strumentazione utilizzata (masse ridotte, struttura rigida non risonante costituita da materiali non-diffragenti, dinamica di oltre 23 bit, ottimizzazione automatica del guadagno per ogni campione, frequenza di campionamento fino a 1.024 campioni per secondo, accuratezza relativa $>10^{-4}$ nell'intervallo di frequenze 0.1-200 Hz) hanno consentito una buona qualità del segnale sismico acquisito sulle tre componenti (verticale, longitudinale e trasversale).

L'acquisizione è stata eseguita nell'ambito dell'area in studio, come risultante dalla planimetria delle ubicazioni prima richiamata, scegliendo una finestra temporale di acquisizione di 20 minuti, per garantire la stabilità del segnale e filtrare eventuali fenomeni transienti. Attraverso l'utilizzo di una bussola professionale da geologo, inoltre, la componente longitudinale è stata orientata verso Nord nella registrazione del “noise”, al fine di confrontare e valutare eventuali amplificazioni polarizzate. I dati registrati su supporto magnetico sono stati quindi elaborati mediante applicativi software commerciali specifici ed altri appositamente predisposti, che hanno operato il trattamento matematico e l'analisi spettrale del segnale. Le registrazioni sono state

ottenute in “velocità” con la possibilità di ricavare comunque la trasformazione in “spostamento” ed in “accelerazione” del moto del suolo.

Per l’elaborazione dei dati è stata seguita la procedura consigliata nelle linee guida del SESAME Site Effects assessment using Ambient Excitations), un progetto di ricerca europeo condotto nel triennio 2003-2005 al fine di standardizzare e migliorare le tecniche di microzonazione sismica attraverso le misure del rumore ambientale. Preliminarmente alla procedura di analisi dei rapporti spettrali, le tracce sismiche registrate sono state verificate eliminando i disturbi transienti e quelle parti di registrazioni non adatte all’analisi. Una volta selezionata la parte di segnale stabile sono state calcolate, per ognuna delle tre componenti del moto, le ampiezze spettrali e gli spettri di potenza del “noise” e si è quindi proceduto a valutare, per il “rumore naturale”, la distribuzione energetica in frequenza. I dati spettrali risultanti dalle elaborazioni numeriche effettuate sono stati analizzati entro tutto l’intervallo di acquisizione 0.1-64.0 Hz.

Nelle tavole grafiche allegate in appendice sono state riportate, per ogni punto di acquisizione e componente del moto, le ampiezze spettrali valutate mediante la trasformata di Fourier.

La risposta sismica di sito, attraverso il calcolo della frequenza di risonanza, è stata investigata applicando la tecnica di Nakamura (1989), valutando quindi, nell’intervallo di frequenze 0.1 – 64.0 Hz, i rapporti spettrali tra le componenti orizzontali e la componente verticale del moto del suolo (H/V). Tale tecnica, secondo le procedure validate dal SESAME, è stata applicata valutando preliminarmente il valore medio (media geometrica) delle due distinte componenti orizzontali N-S (HL) e E-W (HT). Tutte le funzioni ricavate sono state rappresentate in scala logaritmica nelle tavole grafiche allegate.

Infine viene allegato il profilo sismostratigrafico medio delle onde V_s , stimato attraverso l’inversione dei rapporti spettrali H/V, con evidenziato il valore di V_{seq} calcolato secondo le modalità indicate nei recenti sviluppi normativi nazionali prima richiamati (NTC2018).

Nella figura 4.3 di seguito allegata sono stati riportati, per ogni punto di acquisizione e componente del moto, gli spettri di potenza (PSD), che rappresentano la trasformata di Fourier della

funzione di autocorrelazione. Le curve degli spettri di potenza delle diverse componenti del moto sono risultate morfologicamente abbastanza diversificate da sito a sito (a partire da 2 Hz), sebbene sia stato possibile individuare caratteristiche comuni rispetto ai rapporti spettrali H/V. Si è osservato infatti che fino alla frequenza di 8 Hz, la curva H/V risulta piatta con valori intorno a 1, tipicamente indicativi della presenza di un basamento rigido privo di discontinuità sismico-dinamiche significative, per poi avere dei picchi di varia ampiezza alle frequenze più elevate.

Analizzando in dettaglio le principali caratteristiche dei dati spettrali osservati riportati nelle già citate tavole grafiche allegate relative ai risultati ottenuti eseguendo la tecnica dei rapporti spettrali di frequenza (HVSr), si è riscontrato in particolare che:

- in tutti i siti, le componenti del moto presentano un andamento decrescente delle ampiezze spettrali fino a 2-3 Hz, per poi avere un andamento lievemente oscillante alle frequenze più elevate;
- le amplificazioni spettrali delle componenti orizzontali mostrano, nel generale comportamento in fase, una leggera prevalenza del valore dell'ampiezza spettrale della componente E-W;
- la curva dello spettro della componente verticale mostra un andamento molto più irregolare, con oscillazioni e alcuni minimi locali situati in corrispondenza di massimi delle componenti orizzontali, che indicano, molto probabilmente, la presenza di discontinuità di impedenza sismica di carattere lito-stratigrafico legate a variazioni sia di tipo litologico che delle proprietà fisico-meccaniche.

Da segnalare che i criteri di affidabilità della curva HVSr, secondo quanto stabilito nelle linee guida della metodologia (SESAME, 2004), sono stati integralmente soddisfatti, mentre risulta non pienamente soddisfacente il criterio di selezione del picco di ampiezza massima individuato nell'intervallo di frequenza 15-20 Hz, soprattutto relativamente alla estensione dell'intervallo di frequenza amplificato.

Nella **Tabella IV** viene segnalata, per ogni punto di misura, la frequenza con ampiezza predominante congiuntamente al valore di ampiezza massima, mentre lo spettro completo è raffigurato nei relativi diagrammi allegati.

<i>SITO</i>	<i>Frequenza predominante (Hertz)</i>	<i>Ampiezza massima (Ao)</i>
<i>MT1</i>	<i>14.97</i>	<i>2.82</i>
<i>MT2</i>	<i>19.63</i>	<i>5.53</i>

Tabella IV – Valori delle frequenze predominanti e delle ampiezze massime per ogni punto di rilievo del noise sismico

Attraverso l'inversione dei rapporti spettrali H/V è stato inoltre ricavato il profilo sismostratigrafico delle onde Vs, legate alla frequenza (f) dalla relazione $V_s=4 \cdot H \cdot f$, dove H rappresenta lo spessore. In dettaglio, dall'analisi della curva H/V sono state individuate delle discontinuità sismo-stratigrafiche del sottosuolo correlate al picco di frequenza predominante e ad altre principali oscillazioni della curva. Il modello interpretativo ha tenuto conto dei dati geofisici e geognostici già disponibili, integrando e individuando le discontinuità sismostratigrafiche attraverso la correlazione con i picchi di frequenza predominante. Per quanto la stratigrafia ottenibile con tale metodologia sia in generale soltanto indicativa, si segnala comunque la presenza, in tutte le elaborazioni effettuate, di discontinuità localizzate a quote corrispondenti approssimativamente ai risultati ottenuti dalla prova MASW e dai dati stratigrafici ricavati dalle perforazioni geognostiche descritte in precedenza.

Dall'elaborazione di tale profilo, illustrato nel corrispondente elaborato grafico riportato in allegato, è stato ricavato il valore di V_{seq} , secondo le modalità indicate nei recenti sviluppi normativi nazionali (D.M. del 17 gennaio 2018) che è risultato rispettivamente pari a **420 m/s (MT1)** ed a **380 m/s (MT2)**, confermando l'attribuzione del locale substrato geologico alla categoria **B** di sottosuolo.

Per ogni ulteriore valutazione di dettaglio dei risultati ottenuti, si rimanda comunque all'analisi degli elaborati grafici riportati nelle già citate **Appendici C e D** al presente testo.

5. MODELLAZIONE GEOLOGICA DELL'AREA PORTUALE E CONSIDERAZIONI SULLA FATTIBILITA' GEOLOGICA DELLE OPERE PREVISTE IN PROGETTO

L'insieme delle informazioni ottenute nel corso dello studio geologico e geofisico elaborato nell'ambito del progetto esecutivo di riunione dei lavori del 1° stralcio e di quello di completamento, di riqualifica e di adeguamento dell'approdo di Scalo Galera, nel Comune di Malfa (ME), ha permesso in prima istanza di appurare che l'infrastruttura portuale esistente, localizzata nel settore costiero settentrionale dell'isola di Salina, non risulta ricadere, secondo recenti studi specialistici di settore, in aree in cui si possano evidenziare specifiche situazioni geologiche le quali, a loro volta, possano indurre un incremento delle condizioni di pericolosità sismica e vulcanica locale legate, in particolare, alla presenza di lineamenti strutturali interessati da una attività neotettonica o di emissioni gassose eventualmente responsabili di movimenti di innalzamento o abbassamento del suolo.

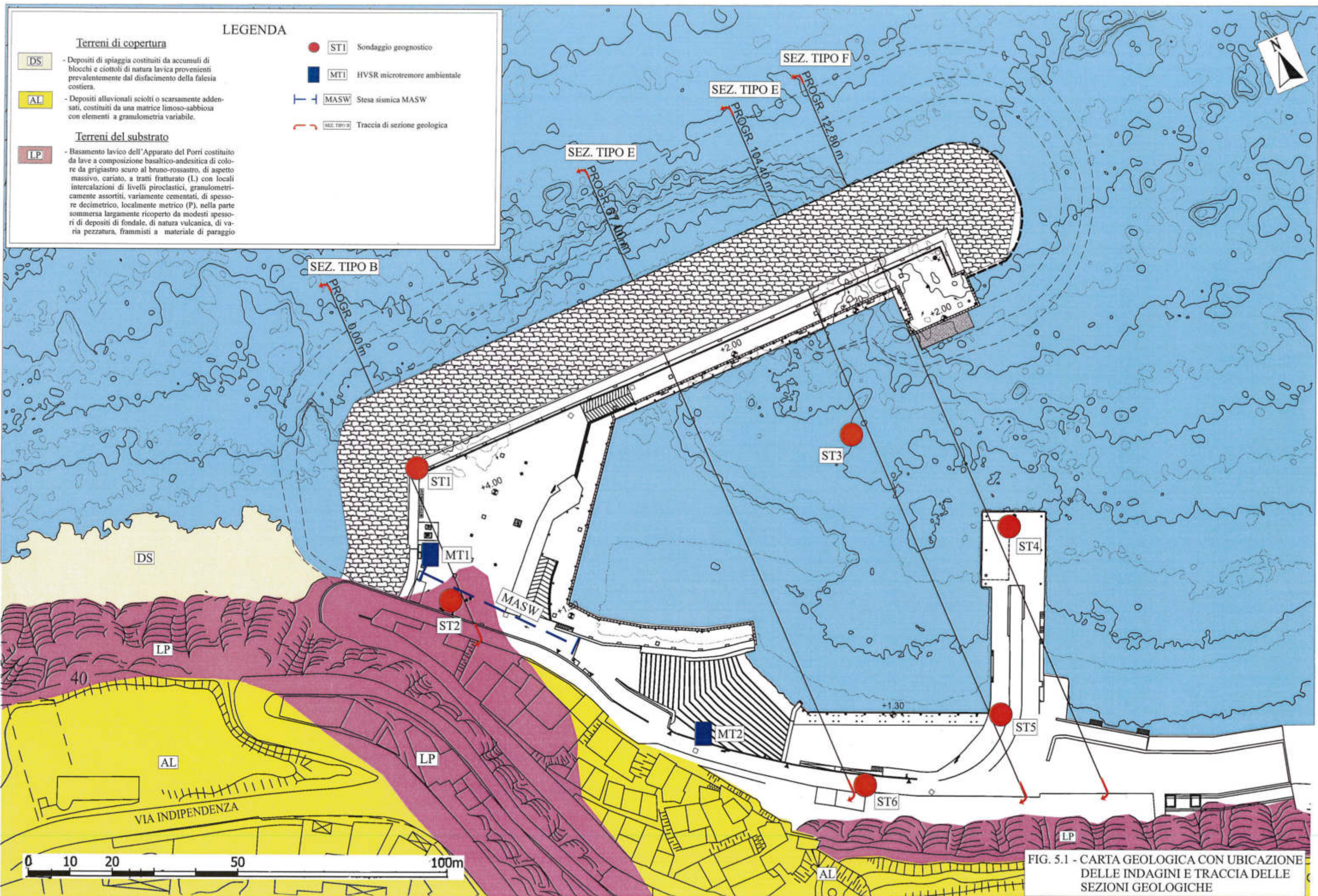
Lo stesso tratto di costa considerato appare altresì caratterizzato da una morfologia ben articolata e con ampie varietà di tipologie comprensive di forme, anche, transazionali, con rapidi passaggi laterali e lo sviluppo di piccole cale racchiuse da coste alte del tipo a falesia, sia attive che inattive. Queste ultime, infatti, appaiono interessate sia da arretramenti, evidenziati dalla presenza di frequenti e locali piccoli promontori, sia da avanzamenti, come testimoniato da emergenze affioranti immediatamente sotto costa e sviluppate su spianate di abrasione marina poste a bassa profondità. Mentre a monte di questa costa alta a "falesia", si inserisce una rete idrografica superficiale di bassa gerarchizzazione, con linee di drenaggio e di corrivazione a prevalente andamento "subradiale" sviluppatasi lungo la generatrice degli originari edifici vulcanici dell'isola oggi non più attivi e comprendenti incisioni incassate nella roccia, a prevalente erosione di fondo, che denotano un marcato arretramento nelle testate di bordo.

In questo contesto, tuttavia, la presenza della medesima struttura portuale esistente unitamente a quella di una serie di opere e di interventi di consolidamento realizzati nel tempo a protezione della stesso approdo, mitigando di fatto l'azione dell'erosione marina al piede della falesia, non ha consentito l'instaurarsi di particolari condizioni pericolosità sia di natura geomorfologica che idraulica, così come anche rilevato nel più recente Piano Stralcio Regionale di Bacino (P.A.I.) relativo alle isole Eolie.

Nello stesso ambito costiero inoltre, gli elementi ed i dati acquisiti nel corso dei rilevamenti geologici di superficie, insieme ai risultati ottenuti dalle indagini geognostiche, geotecniche e geofisiche specificatamente eseguite, hanno consentito la ricostruzione della locale serie geostratigrafica, ben esposta peraltro lungo la falesia costiera retrostante l'area portuale oggetto degli interventi (cfr Fig. 5.1 - Carta geologica schematica dell'area di progetto).

In corrispondenza della superficie occupata dall'approdo è stata infatti rilevata la presenza di una successione di colate laviche (**L**) a cui si intercala un'articolata alternanza di depositi da caduta e da correnti piroclastiche (**P**) che, oltre ad affiorare lungo tutto il tratto costiero di Scalo Galera, caratterizza ampiamente anche i fondali dell'area interessata dai lavori in progetto. Si tratta, in particolare di lave massive a composizione basaltico-andesitica talora cariate, a tratti fratturate, associate appunto a piroclastiti, scorie e pomici, appartenenti nell'insieme all'Apparato vulcanico dei Porri, le quali, nella parte emersa, appaiono parzialmente occultate sia da depositi di origine alluvionale (**AL**) costituenti il "terrazzo" morfologico soprastante la falesia, sia da depositi di spiaggia (**DS**) posti alla base di quest'ultima, formati da accumuli comprendenti blocchi di varie dimensioni e ciottoli di natura lavica a spigoli generalmente arrotondati, crollati dalla parete.

Tale basamento lavico (**LP**), lungo i fondali antistanti lo specchio acqueo di Scalo Galera, appare allo stesso modo variamente ricoperto da modesti spessori di sedimenti litoranei mobili ben elaborati, di natura vulcanica, frammisti a materiali provenienti dalle mantellate e dai moli esistenti.



Depositatisi questi ultimi in seguito sia alla dispersione del ciottolame accumulato in tempi storici con funzione di paraggio per la difesa dell’approdo, sia alla progressiva e costante sconnessione dei blocchi di cemento posti recentemente, anch’essi, a costituire specificatamente il paraggio dai venti provenienti dai quadranti settentrionali. Substrato lavico (**LP**) comunque che risulta dotato nel complesso di buone caratteristiche fisiche e meccaniche nei riguardi sia della portanza che della resistenza alla compressione semplice compresa ,quest’ultima, fra 41,8 e 151,5 MPa (**cfr. Figg. 5.2 e 5.3 – Sezioni geologiche di progetto in scala 1:400**).

In ordine a questo ultimo aspetto occorre anche evidenziare che i risultati ottenuti ,nel complesso, dalle indagini geofisiche eseguite hanno consentito, in riferimento a quanto previsto nella più recente normativa tecnica vigente (**NTC2018**) di ricondurre l’intera serie litostratigrafica locale (**LP**) alla categoria **B** di sottosuolo comprendente “*Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e valori di velocità equivalente V_{seq} compresi tra 360 m/s e 800 m/s*”.

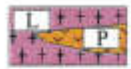
Quest’ultima, insieme ai parametri spettrali della relativa zona sismica riportati in **Tabella V**, che per le isole minori sono rappresentativi della pericolosità sismica di base dell’intero territorio, è propedeutica, nello specifico, alla definizione dell’azione sismica nell’area di progetto che risulta riferibile, in rapporto alle condizioni fisiografiche locali, ad una categoria topografica di tipo **T1** ascrivibile a “*Superfici pianeggianti, pendii e rilievi isolati con inclinazione media, uguale o minore di 15°*”.

Isole	$T_R=38$			$T_R=50$			$T_R=72$			$T_R=101$		
	a_g	F_a	T_E	a_g	F_a	T_E	a_g	F_a	T_E	a_g	F_a	T_E
Alicudi, Filicudi,	0.350	2.700	0.400	0.558	2.700	0.400	0.807	2.700	0.400	1.020	2.700	0.400
Panarea, Stromboli, Lipari, Vulcano, Salina	0.618	2.455	0.287	0.817	2.484	0.290	0.983	2.506	0.294	1.166	2.520	0.290

Tabella V - Parametri degli spettri di normativa per le Isole Eolie

LEGENDA

Terreni del substrato



Basamento lavico dell'Apparato del Porri costituito da lave a composizione basaltico-andesitica di colore da grigiastro scuro al bruno-rossastro, di aspetto massivo, cariato, a tratti fratturato (L) con locali intercalazioni di livelli piroclastici, granulometricamente assortiti, variamente cementati, di spessore decimetrico, localmente metrico (P), nella parte sommersa largamente ricoperto da modesti spessori di depositi di fondale, di natura vulcanica, di varia pezzatura, frammisti a materiale di paraggio (LP)

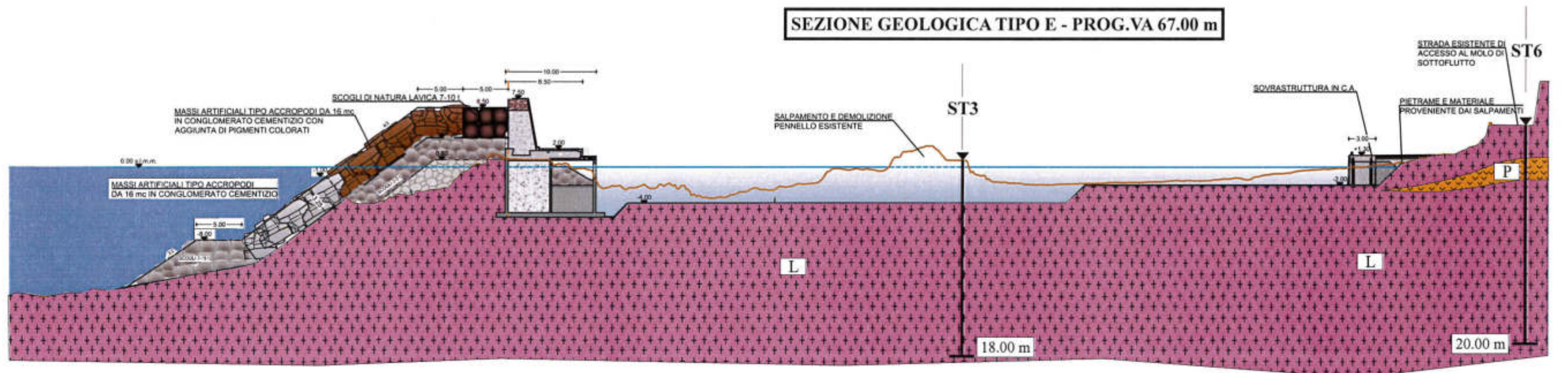
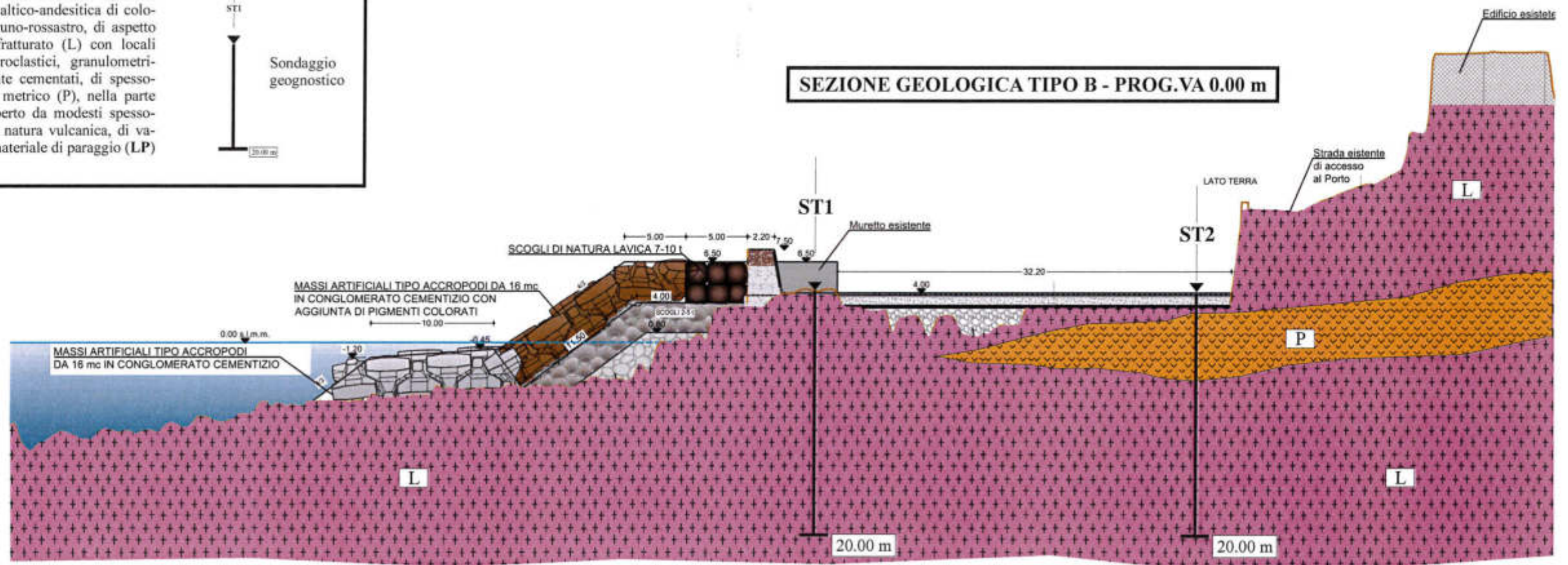
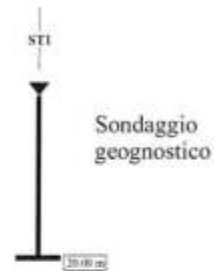


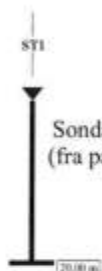
FIG. 5.2 - SEZIONI GEOLOGICHE DI PROGETTO TIPO B E TIPO E (scala 1:400)

LEGENDA

Terreni del substrato

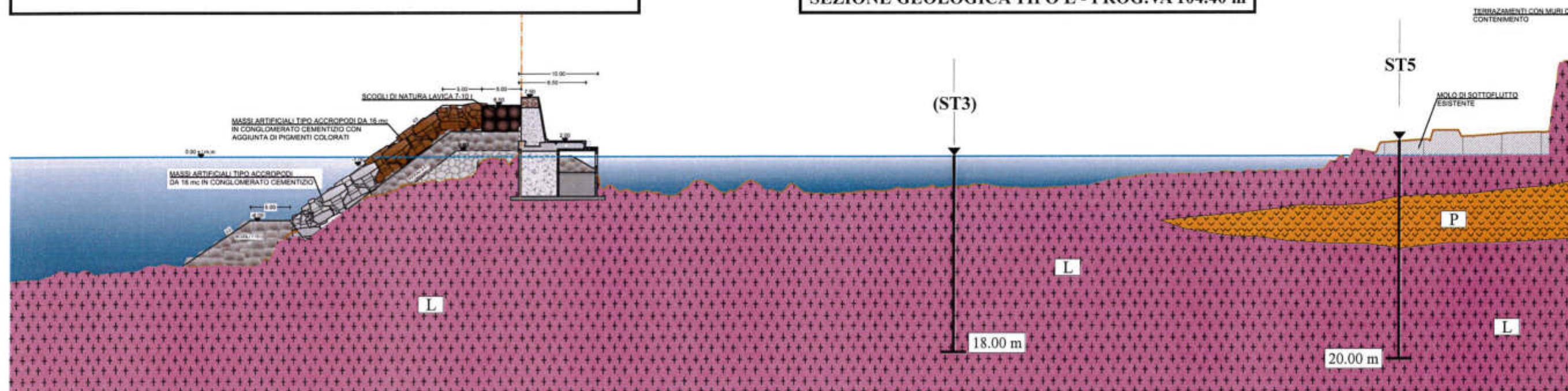


Basamento lavico dell'Apparato dei Porri costituito da lave a composizione basaltico-andesitica di colore da grigiastro scuro al bruno-rossastro, di aspetto massivo, cariato, a tratti fratturato (L) con locali intercalazioni di livelli piroclastici, granulometricamente assortiti, variamente cementati, di spessore decimetrico, localmente metrico (P), nella parte sommersa largamente ricoperto da modesti spessori di depositi di fondale, di natura vulcanica, di varia pezzatura, frammistti a materiale di paraggio (LP)



Sondaggio geognostico
(fra parentesi proiettato)

SEZIONE GEOLOGICA TIPO E - PROG.VA 104.40 m



SEZIONE GEOLOGICA TIPO F - PROG.VA 122.80 m

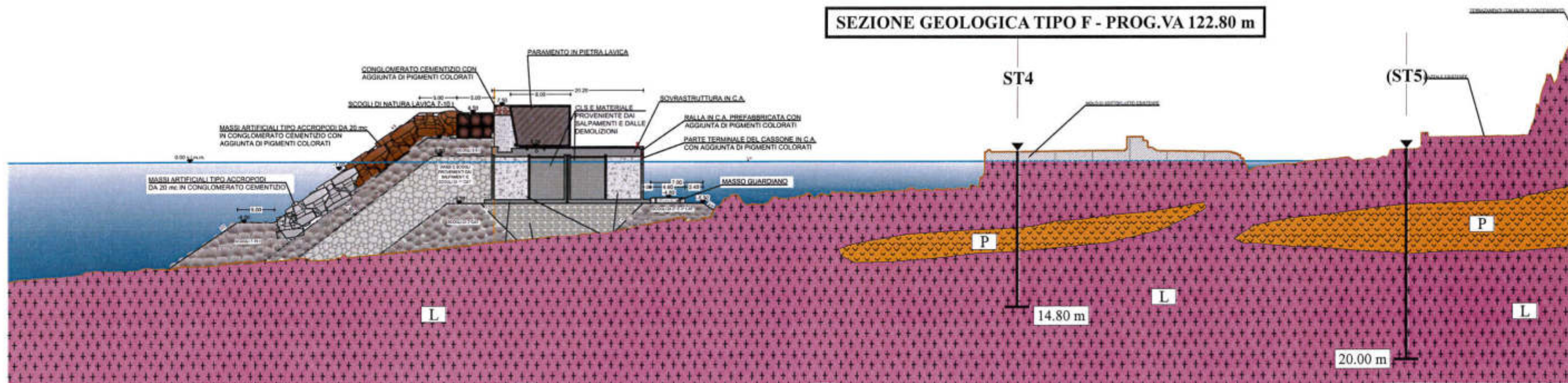


FIG. 5.3 - SEZIONI GEOLOGICHE DI PROGETTO
TIPO E E TIPO F (scala 1:400)

In relazione a queste condizioni è appena il caso di evidenziare che nell'ambito degli interventi in programma è anche prevista la realizzazione di un molo che, articolandosi praticamente lungo tutto il margine settentrionale dell'insenatura costituente l'area di progetto, opererà un'azione di schermo praticamente sull'intera struttura portuale nei confronti di eventuali risentimenti indotti da potenziali onde anomale, negli studi specialistici più recenti ritenute invero come caratterizzate da una scarsa probabilità di occorrenza e da una pressoché prevalente direzione di provenienza da Nord.

In considerazione di quanto sin qui descritto appare pertanto ragionevole confermare la sostanziale compatibilità geomorfologica delle opere in progetto al contesto entro cui si inserisce l'approdo di Scalo Galera interessato dagli interventi di riqualifica e di adeguamento previsti.

Palermo, maggio 2019

Il geologo
Giovanni Ventura Bordenca



Appendice A

Sondaggi geognostici

COMUNE DI MALFA – ISOLA DI SALINA

Lavori di riqualifica di adeguamento delle opere foranee, delle banchine, dello scalo di alaggio e dei fondali dell'approdo di Scalo Galera

SONDAGGIO ST1

Da m.0.00 a m.2.50	Conglomerato cementizio della banchina esistente, costituito da elementi lavici scoriacei, di colore grigiastro, a spicoli vivi, e ciottoli (CC).
da m.2.50 a m.3.00	Materiale vulcanico, bene elaborato, costituito da ciottoli di colore dal bianco al rossastro (DS)
da m.3.00 a m.5.50	Lave scoriacee, di colore bruno rossastre, ben carotate (L).
da m.5.50 a m.6.50	Lave scoriacee, di colore grigiastro (L).
da m.6.50 a m.20.00	Lave grigiastre ben carotate da 7.50 a 14.00 m. Da 16.20 a 16.80 le lave sono carotate in dischi e blocchi. Tra 18.00 e 18.50 si intercetta un livello sabbioso con sparsi elementi lapidei (L).



SONDAGGIO ST1 - Da m 0.00 a m 6.50



SONDAGGIO ST1 - Da m 13.50 a m 20.00



POSTAZIONE SONDAGGIO ST1



SONDAGGIO ST1 - Da m 6.50 a m 13.50

COMUNE DI MALFA – ISOLA DI SALINA

*Lavori di riqualifica di adeguamento delle opere foranee, delle banchine,
dello scalo di alaggio e dei fondali dell'approdo di Scalo Galera*

SONDAGGIO ST2

Da m 0.00 a m.1.00	Conglomerato cementizio della banchina esistente costituito da elementi lavici scoriacei carotati da 0.30 a1.00 m come sabbie e ghiaie (CC).
da m 1.00 a m 1.80	Materiale lavico di colore grigio-nerastro (L).
da m 1.80 a m 5.00	Piroclastiti, di colore nerastro, carotate come ghiaia e sabbia con sparsi blocchi isolati, a spigoli vivi, di colore nero-rossastro (P).
da m 5.00 a m 7.00	Piroclastiti di colore rossastro (P).
da m 7.00 a m 8.00	Alternanza di piroclastiti e lave rossastre (L+P).
da m 8.00 a m 8.50	Livello di lave massive di colore rossastro (L).
da m 8.50 a m 20.00	Materiale lavico ben carotato di colore grigiastro (L).



POSTAZIONE SONDAGGIO ST2



SONDAGGIO ST2 - Da m 5,00 a m 10,00



SONDAGGIO ST2 - Da m 16,00 a m 20,00



SONDAGGIO ST2 - Da m 0,00 a m 5,00



SONDAGGIO ST2 - Da m 10,00 a m 16,00

COMUNE DI MALFA – ISOLA DI SALINA

*Lavori di riqualifica di adeguamento delle opere foranee, delle banchine,
dello scalo di alaggio e dei fondali dell'approdo di Scalo Galera*

SONDAGGIO ST3

Da m 0.00 a m.2.30	Conglomerato cementizio della banchina esistente (CC).
da m 2.30 a m 5.00	Materiale piroclastitico, di colore bruno-rossastro, carotato come ghiaia e sabbia in varia percentuale con sparsi elementi lapidei, di varia pezzatura (bombe, lapilli), talora arrotondati, con chiari segni di rielaborazione marina (DS).
da m 5.00 a m 18.00	Lave massive, poco fratturate, di colore dal grigiastro al rosato passanti, da 17.50 fino a fondo foro, a lave grigio-nerastre leggermente cariate (L).



COMUNE DI MALFA – ISOLA DI SALINA

*Lavori di riqualifica di adeguamento delle opere foranee, delle banchine,
dello scalo di alaggio e dei fondali dell'approdo di Scalo Galera*

SONDAGGIO ST4

Da m 0.00 a m.4.00	Conglomerato cementizio della banchina esistente costituito da elementi lavici scoriacei (CC).
da m 4.00 a m 4.80	Materiale vulcanico, carotato come sabbia e ghiaia, di colore grigio-nerastro, con sparsi ciottoli parzialmente elaborati (DS).
da m 4.80 a m 7.50	Lave grigiastre carotate come ghiaia grossa, blocchi e sabbie vulcaniche fini di colore grigiastro (L).
da m 7.50 a m 9.50	Piroclastiti di colore rossastro (P).
da m 9.50 a m 14.80	Lave massive grigiastre carotate come dischi e blocchi (L).



COMUNE DI MALFA – ISOLA DI SALINA
*Lavori di riqualifica di adeguamento delle opere foranee, delle banchine,
dello scalo di alaggio e dei fondali dell'approdo di Scalo Galera*

SONDAGGIO ST5

Da m 0.00 a m.1.20	Conglomerato cementizio della banchina esistente (CC).
da m 1.20 a m 5.20	Materiale lavico di colore nerastro carotato come ghiaia, sabbia e rari blocchi, la parte ghiaiosa risulta parzialmente rielaborata (DS).
da m 5.20 a m 10.00	Piroclastiti di colore rosso nerastro carotati come ghiaie e blocchi, con un livello di argille e sabbie giallastre da 7.00 a 7.10 m . (P)
da m 10.00 a m 12.40	Lave compatte massive ben carotate di colore grigiastro (L).
da m 12.40 a m 12.80	Livello sabbioso piroclastico, di colore rossastro, con sparsi elementi lapidei a spigoli vivi (P).
da m 12.80 a m 14.80	Lave grigiastre carotate come ghiaia e blocchi (L).
da m 14.80 a m 15.20	Lave rossastre di aspetto scoriaceo ben carotate (L).
da m 15.20 a m 20.00	Alternanze di lave scoriacee rossastre, tenere, sabbie e ghiaie (L).



COMUNE DI MALFA – ISOLA DI SALINA
*Lavori di riqualifica di adeguamento delle opere foranee, delle banchine,
dello scalo di alaggio e dei fondali dell'approdo di Scalo Galera*

SONDAGGIO ST6

Da m 0.00 a m.3.00	Terreno di riporto costituito da materiale vulcanico di varia pezzatura, frammisto a sabbie vulcaniche variamente addensate (TR).
da m 3.00 a m 5.00	Piroclastiti di colore rossastro con bombe ceneri e lapilli (P).
da m 5.00 a m 5.50	Livello lavico, di colore grigio, carotato come ghiaia e blocchi (L).
da m 5.50 a m 7.60	Lave nerastre scoriacee carotate come sabbie e ghiaia grossa (L).
da m 7.60 a m 10.00	Lave scoriacee rossastre carotate come sabbia grossa, ghiaia e rari blocchi (L).
da m 10.00 a m 12.00	Lave massive grigiastre (L).
da m 12.00 a m 15.00	Lave massive di colore nero rossastro di aspetto scoriaceo (L).
da m 15.00 a m 16.20	Lave massive di colore nero rossastro carotate come ghiaia grossolana e blocchi (L).
da m 16.20 a m 20.00	Lave ridotte a sabbie di colore bruno rossastro per effetto della distruzione di nucleo (L).



Appendice B

Prove geotecniche di laboratorio

PROVE DI LABORATORIO
SU CAMPIONI DI ROCCIA

Ente Appaltante Comune di Malfa nell'isola di Salina

Progettista Ing. Francesco Giordano

Consulente Geologo Dott. G. Ventura

Consulente Geotecnico Ing. C. Valore

Lavoro Riqualifica ed adeguamento delle opere foranee delle banchine, dello scalo di alaggio e dei fondali dell'approdo di Scalo Galera nel Comune di Malfa - Progetto esecutivo

Lettera di incarico Palermo, 19/2/2004

Il presente elaborato è composto da 17 fogli numerati da 1 a 17.

Palermo, 24 marzo 2004

COPIA CONFORME
ALL'ORIGINALE

Il Direttore del Laboratorio
Ing. Vincenzo Canzoneri



Riqualifica ed adeguamento delle opere foranee delle banchine,
dello scalo di alaggio e dei fondali dell'approdo di Scalo Galera
nel Comune di Malfa - Progetto esecutivo

Prove di laboratorio

Nel presente elaborato si riportano i risultati delle prove di laboratorio effettuate su 9 campioni di roccia lavica andesitica e 6 campioni di terreno prelevati nel corso delle indagini per i lavori di riqualifica ed adeguamento delle opere foranee delle banchine, dello scalo di alaggio e dei fondali dell'approdo di Scalo Galera nel Comune di Malfa - Progetto esecutivo.

Le prove sono state effettuate su incarico del Progettista Ing. Francesco Giordano.

I campioni sono pervenuti in laboratorio il giorno 19 febbraio 2004.

Sui campioni di terreno è stata effettuata la determinazione della composizione granulometrica per stacciatura, secondo la Normativa ASTM D-422 (1998). La quantità di materiale da utilizzare è stata determinata in dipendenza delle dimensioni massime dell'elemento più grosso.

La stacciatura è stata eseguita utilizzando la serie di setacci ASTM aventi apertura delle maglie 3", 2" $\frac{1}{2}$, 2", 1" $\frac{1}{2}$, 1", 3/4", 3/8" e la serie di setacci ASTM n. 4, 8, 16, 20, 40, 80, 120, 200.

I risultati sono diagrammati in grafici che forniscono la percentuale in peso del materiale in funzione del diametro; viene inoltre riportata la composizione granulometrica del terreno secondo la classificazione A.G.I..

Sui campioni di roccia sono state effettuate 10 prove di rottura per compressione semplice, secondo quanto previsto dalla Normativa ISRM (1978), e determinazioni del peso dell'unità di volume γ mediante bilancia idrostatica.

Le prove sono state eseguite su provini di forma cilindrica ricavati mediante sagomatura, utilizzando una macchina universale GALDABINI PMA 60, matricola n. 33201, di portata 600 kN, classe 1 ed una pressa TECNOTEST KL 300.70 E, matricola n.1080, di portata 3.000 kN, classe 1. La verifica semestrale di taratura è stata eseguita dal Dipartimento di Ingegneria Strutturale e Geotecnica dell'Università di Palermo il 20/11/2003.

La tensione normale applicata σ_v è stata misurata mediante una cella di carico elettronica, mentre l'accorciamento verticale del campione è stato rilevato per mezzo di un trasduttore elettronico. Sono stati inoltre determinati i valori del modulo di Young tangente E_t e del modulo di Young secante E_s , calcolati in corrispondenza di un valore di tensione normale σ_v pari a metà della tensione di rottura σ_f .

I risultati sono stati diagrammati in grafici σ_v/ϵ e sono riportati in sintesi nella tabella a pag. 4.
Tutti i provini, ad eccezione di quelli identificati con le sigle ST5/C3 e ST6/C2, si sono disintegrati a seguito della prova di compressione.
Nelle pagine seguenti sono riportate le schede relative alle analisi e prove eseguite sui singoli campioni.

Palermo, 24 marzo 2004

Il Direttore del Laboratorio

Ing. Vincenzo Canzoneri



Verbale di accettazione: 016/2004

Richiedente: Ing. Francesco Giordano

Lavoro: Isola di Salina - Comune di Malfa

Risultati delle prove di rottura per compressione

Sondaggio	Campione	Profondità [m]	Peso dell'unità di volume γ [kN/m ³]	Resistenza a rottura σ_c [N/mm ²]
ST1	C1	4.90 ÷ 5.10	24.5	82.2
ST2	C2	15.00 ÷ 5.25	26.0	109.5
ST3	C2	7.10 ÷ 7.30	25.9	136.5
ST3	C3	16.50 ÷ 16.75	26.1	148.5
ST4	C3/1	11.70 ÷ 12.10	25.9	87.8
ST4	C3/2	11.70 ÷ 12.10	26.4	151.5
ST5	C1	2.00 ÷ 2.20	23.5	74.2
ST5	C3	15.00 ÷ 15.25	24.4	41.8
ST6	C2	10.00 ÷ 10.30	24.8	44.1
ST6	C3	14.00 ÷ 14.50	24.2	57.1

Note: 1 N/mm² $\approx$ 10 Kg/cm²

Lo Spediente
 Alessandro Spanò

Il Direttore del laboratorio
 Ing. Vincenzo Canzoneri



Verbale di accettazione 016/2004

Certificato n° -

Richiedente Ing. Francesco Giordano

Lavoro Isola di Salina - Comune di Malfa

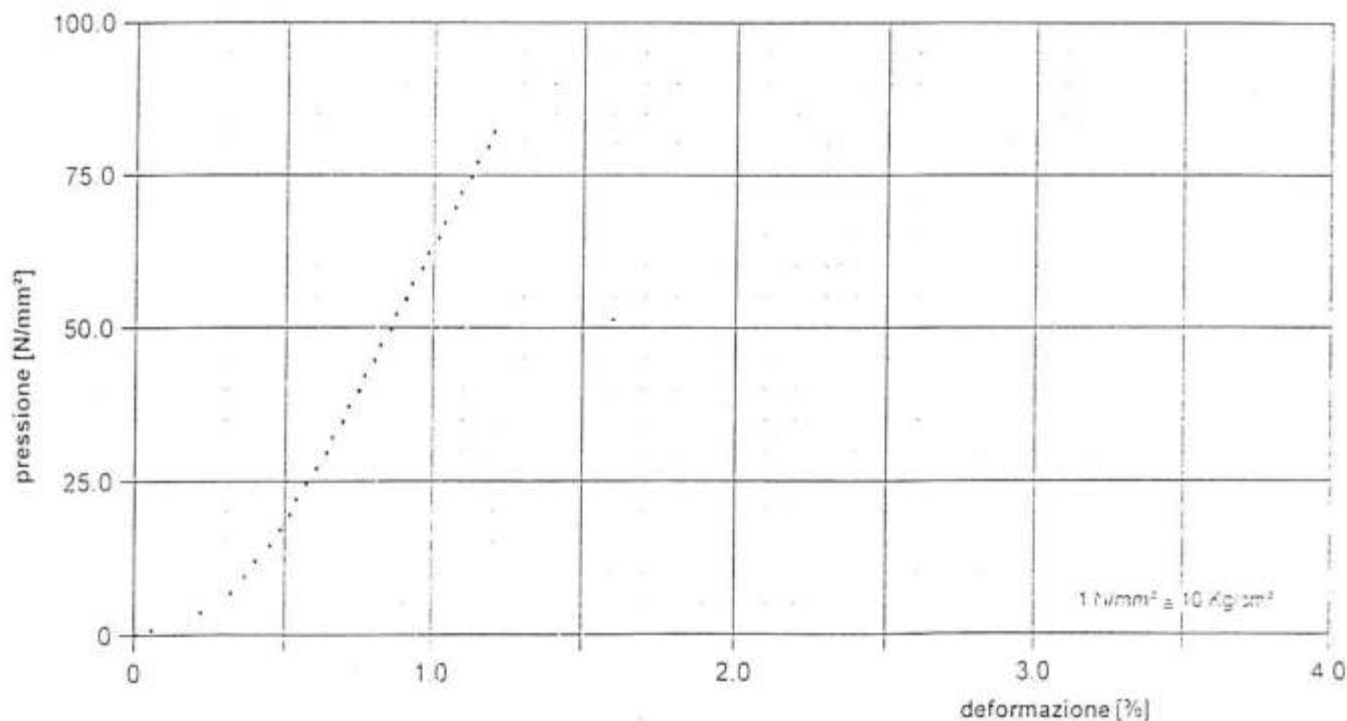
Sondaggio ST1 Campione C1 Profondità da m 4.90 a m 5.10

Data arrivo 19/2/2004

Data prova 4/3/2004

PROVA A COMPRESSIONE SU PROVINI CILINDRICI - ASTM D-2166

d = 82 mm w =

h = 138 mm $\gamma = 24.5 \text{ KN/m}^3$ S₀ = 5281 mm² v = 0.75 N/mm²/sec $\sigma_f = 82.17 \text{ N/mm}^2$ $E_t = 8890 \text{ N/mm}^2$ Schema
di
rottura $\varepsilon_f = 1.2 \%$ $E_s = 5510 \text{ N/mm}^2$

Note

Lo Sperimentatore
Alessandro Spano'Il Direttore del Laboratorio
Ing. Vincenzo Canzoneri

Verbale di accettazione 016/2004

Certificato n° -

Richiedente Ing. Francesco Giordano

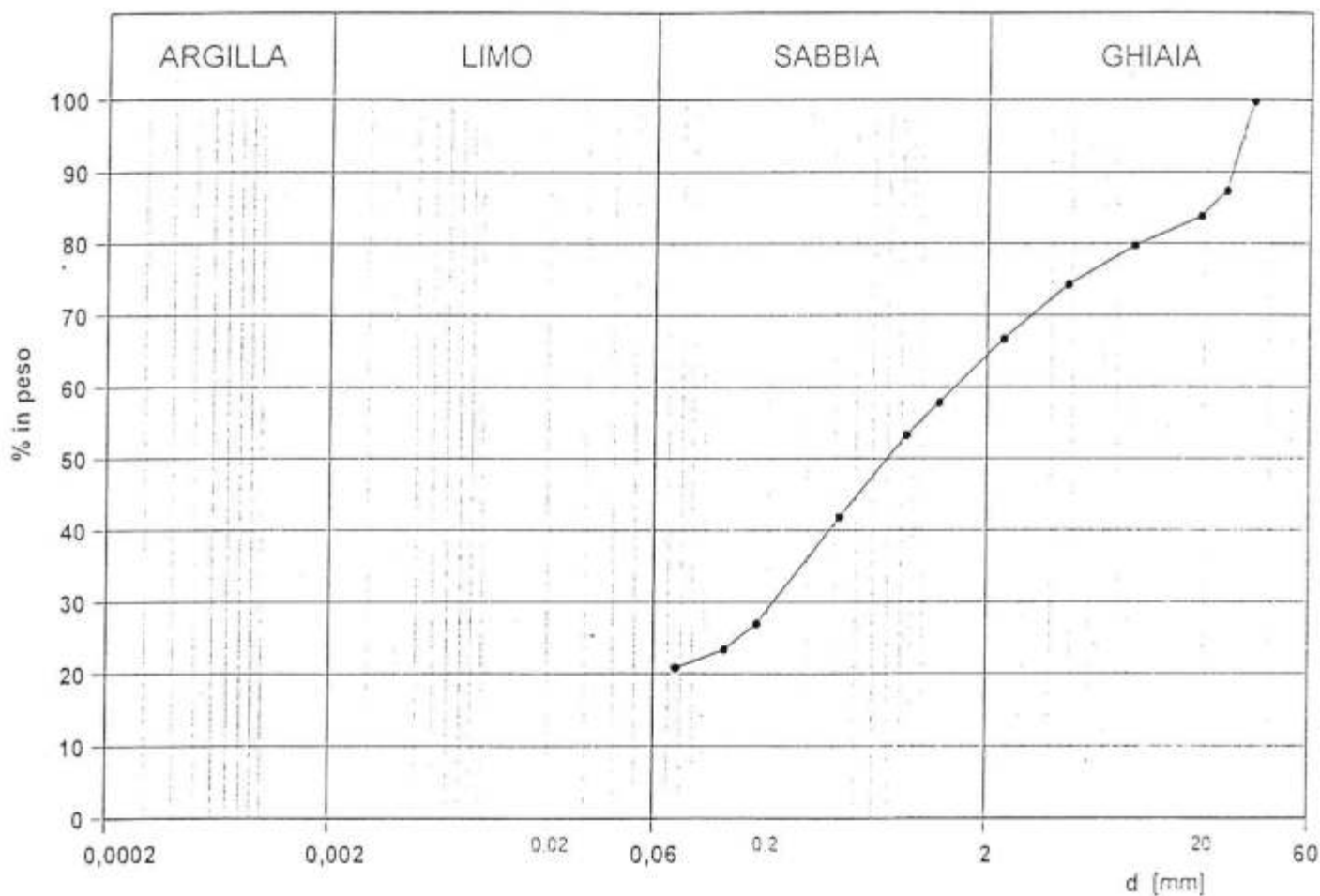
Lavoro Isola di Salina - Comune di Malfa

Sondaggio ST2 Campione C1 Profondità da m 4.00 a m 4.50

Data arrivo 19/2/2004

Data prova 12/3/2004

ANALISI GRANULOMETRICA - ASTM D-422 (1998)



Composizione granulometrica Sabbia con ghiaia limosa

$$U = \frac{d_{60}}{d_{10}} = \quad \% < d = 0,002 \text{ mm}$$

Note

Lo Sperimentatore
 Alessandro Spano

Il Direttore del laboratorio
 Ing. Vincenzo Canzoneri

Verbale di accettazione 016/2004

Certificato n° -

Richiedente Ing. Francesco Giordano

Lavoro Isola di Salina - Comune di Malfa

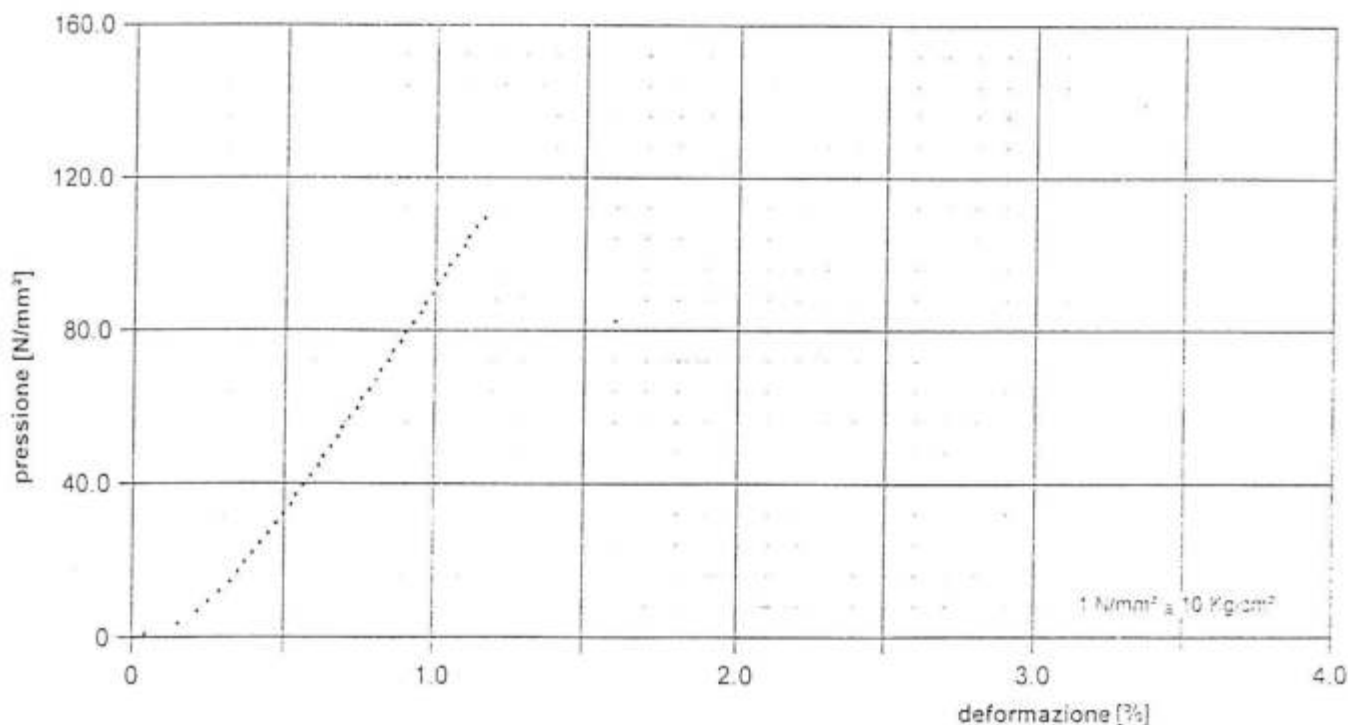
Sondaggio ST2 Campione C2 Profondità da m 15.00 a m 15.25

Data arrivo 19/2/2004

Data prova 4/3/2004

PROVA A COMPRESSIONE SU PROVINI CILINDRICI - ASTM D-2166

d = 82 mm w =

h = 187 mm $\gamma = 26$ KN/m³S₀ = 5281 mm² v = 0.75 N/mm²/sec $\sigma_f = 109.47$ N/mm² $E_t = 11780$ N/mm²Schema
di
rottura $\varepsilon_f = 1.16$ % $E_s = 7910$ N/mm²

Note

Lo Sperimentatore
Alessandro SpadòIl Direttore del laboratorio
Ing. Vincenzo Canzonieri

Verbale di accettazione 016/2004

Certificato n° -

Richiedente Ing. Francesco Giordano

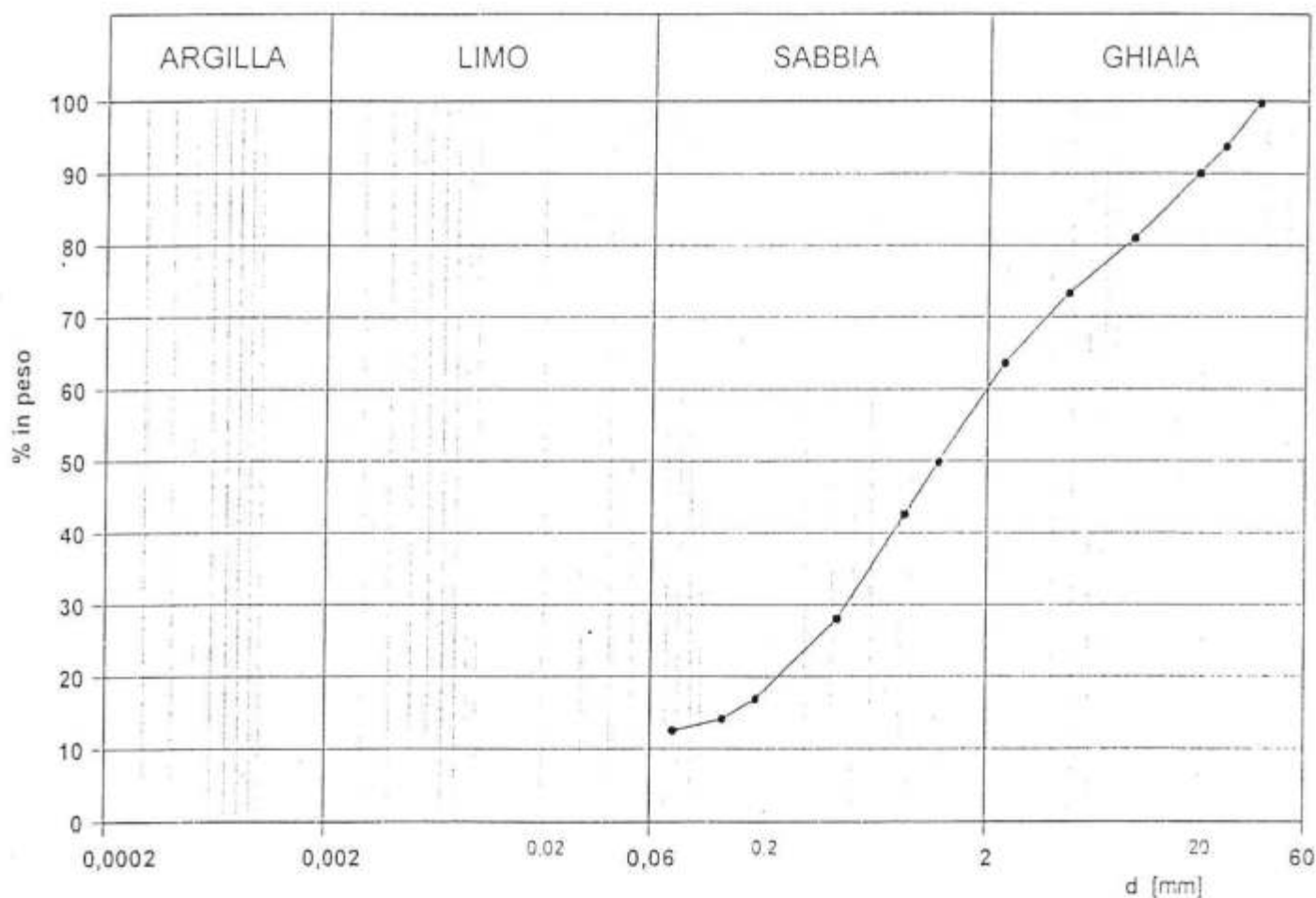
Lavoro Isola di Salina - Comune di Malfa

Sondaggio ST3 Campione C3 Profondità da m 3.00 a m 3.50

Data arrivo 19/2/2004

Data prova 12/3/2004

ANALISI GRANULOMETRICA - ASTM D-422 (1998)



Composizione granulometrica Sabbia con ghiaia limosa

$$U = \frac{d_{60}}{d_{10}} =$$

% < d = 0,002 mm

Note



Lo Sperimentatore
Alessandro Spano

Il Direttore del laboratorio
Ing. Vincenzo Canzoneri

Verbale di accettazione 016/2004

Certificato n° -

Richiedente Ing. Francesco Giordano

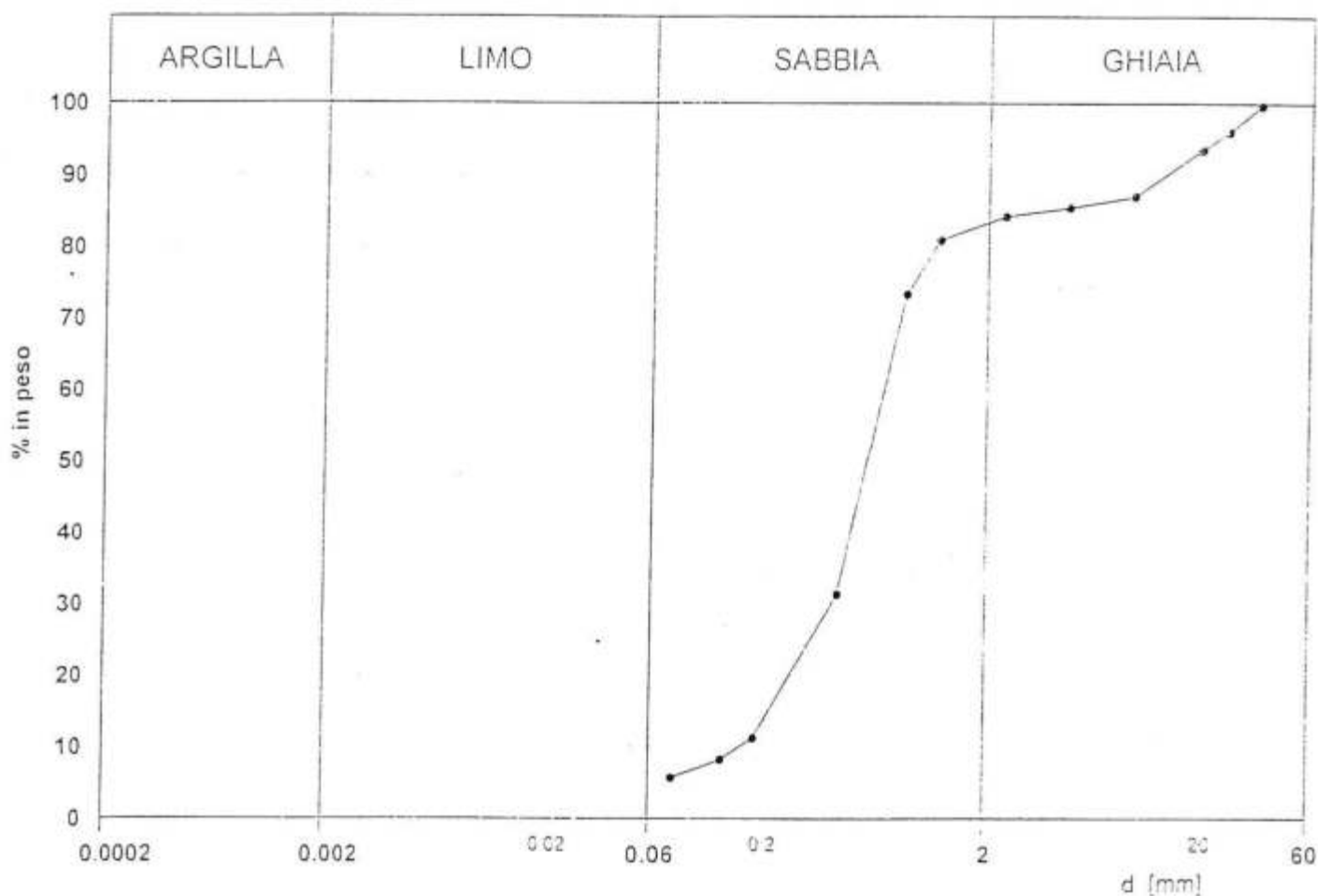
Lavoro Isola di Salina - Comune di Malfa

Sondaggio ST4 Campione C1 Profondità da m 4,00 a m 5,00

Data arrivo 19/2/2004

Data prova 12/3/2004

ANALISI GRANULOMETRICA - ASTM D-422 (1998)

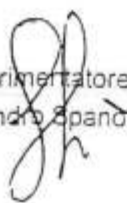


Composizione granulometrica Sabbia ghiaiosa

$$U = \frac{d_{60}}{d_{10}} =$$

% < d = 0.002 mm

Note

 Lo Sperimentatore
 Alessandro Spano
 

 Il Direttore del laboratorio
 Ing. Vincenzo Canzoneri
 

Verbale di accettazione 016/2004

Certificato n° -

Richiedente Ing. Francesco Giordano

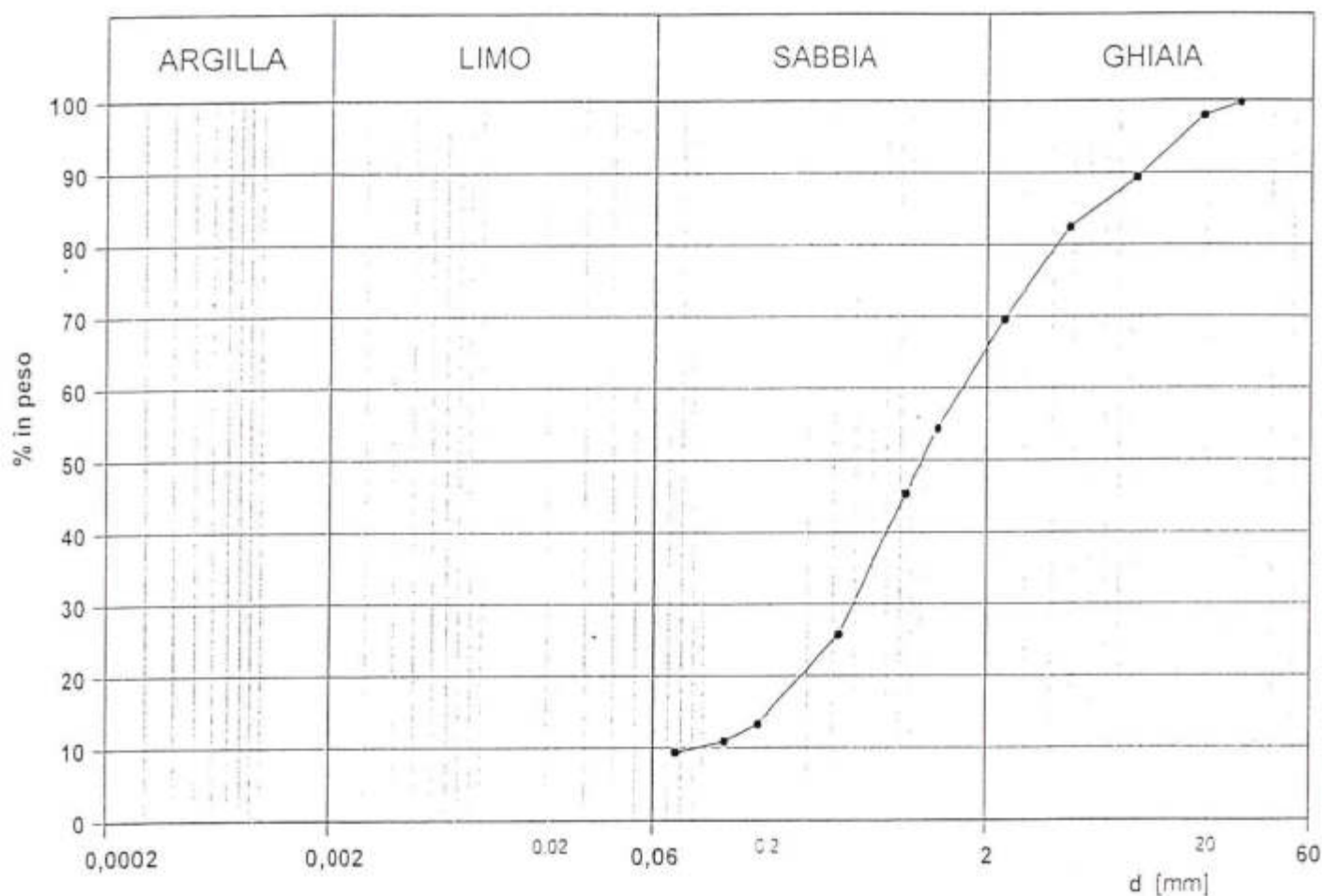
Lavoro Isola di Salina - Comune di Malfa

Sondaggio ST4 Campione C2 Profondità da m 7.50 a m 8.00

Data arrivo 19/2/2004

Data prova 12/3/2004

ANALISI GRANULOMETRICA - ASTM D-422 (1998)



Composizione granulometrica Sabbia con ghiaia deb. limosa

$$U = \frac{d_{60}}{d_{10}} =$$

% < d = 0.002 mm

Note


 Lo Sperimentatore
 Alessandro Spano

 Il Direttore del laboratorio
 Ing. Vincenzo Canzonieri

Verbale di accettazione 016/2004

Certificato n° -

Richiedente Ing. Francesco Giordano

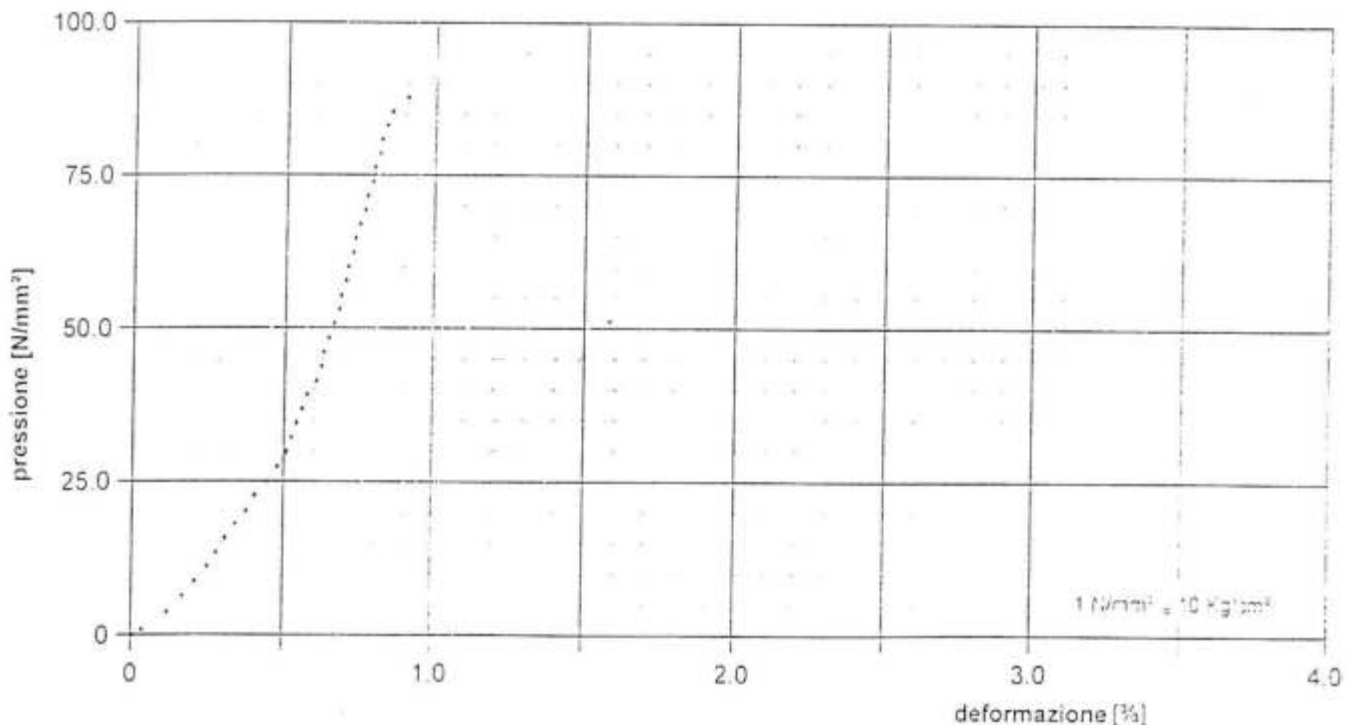
Lavoro Isola di Salina - Comune di Malfa

Sondaggio ST4 Campione C3/1 Profondità da m 11.70 a m 12.10

Data arrivo 19/2/2004 Data prova 4/3/2004

PROVA A COMPRESSIONE SU PROVINI CILINDRICI - ASTM D-2166

d = 82 mm w =
 h = 170 mm $\gamma = 25.9 \text{ KN/m}^3$
 $S_0 = 5281 \text{ mm}^2$ v = 0.75 $\text{N/mm}^2/\text{sec}$



$\sigma_f = 87.77 \text{ N/mm}^2$ $E_t = 13470 \text{ N/mm}^2$
 $\epsilon_f = 0.91 \%$ $E_s = 7060 \text{ N/mm}^2$

Schema
 di
 rottura

Note

Lo Sperimentatore
 Alessandro Spadò

Il Direttore del laboratorio
 Ing. Vincenzo Canzonieri

Verbale di accettazione 016/2004

Certificato n° -

Richiedente Ing. Francesco Giordano

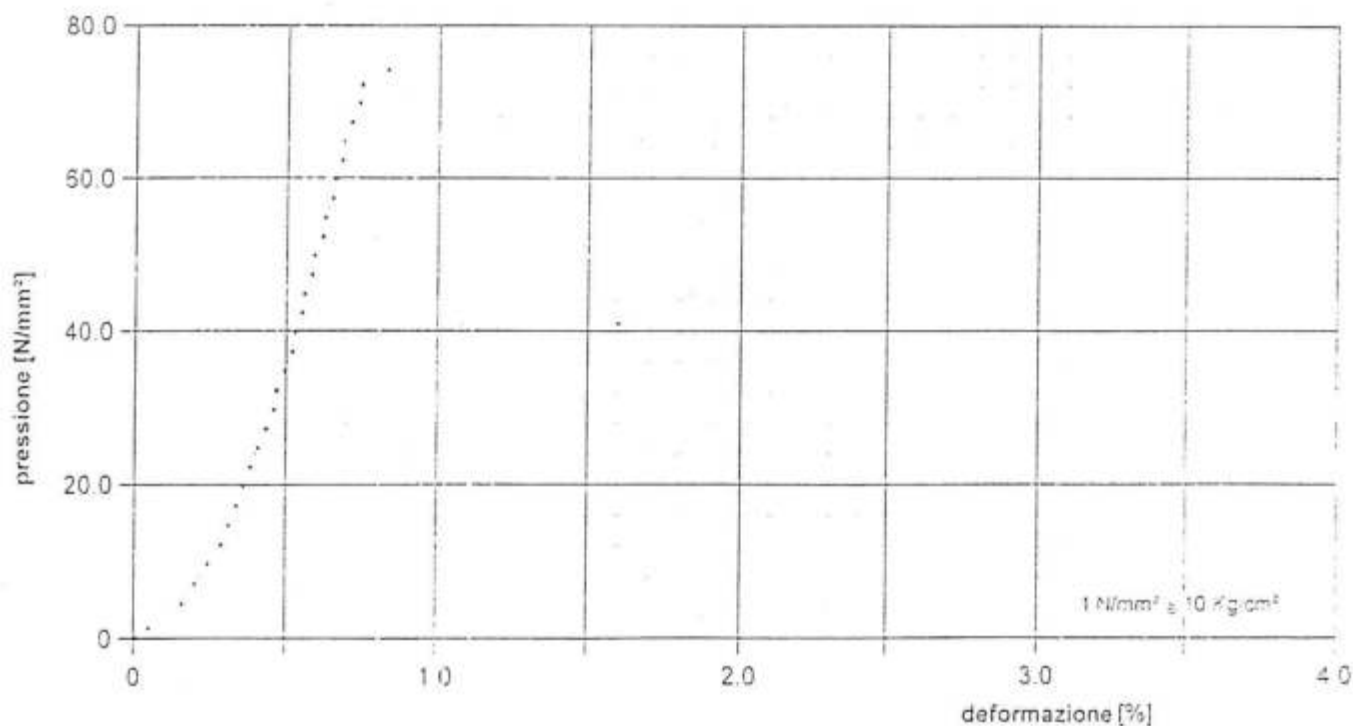
Lavoro Isola di Salina - Comune di Malfa

Sondaggio ST5 Campione C1 Profondità da m 2.00 a m 2.20

Data arrivo 19/2/2004 Data prova 4/3/2004

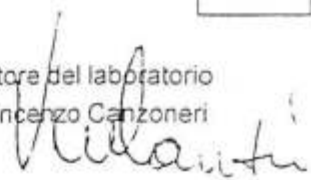
PROVA A COMPRESSIONE SU PROVINI CILINDRICI - ASTM D-2166

$d = 82 \text{ mm}$ $w =$
 $h = 108 \text{ mm}$ $\gamma = 23.5 \text{ KN/m}^3$
 $S_0 = 5281 \text{ mm}^2$ $v = 0.75 \text{ N/mm}^2/\text{sec}$

 $\sigma_f = 74.22 \text{ N/mm}^2$ $E_t = 13190 \text{ N/mm}^2$ $\epsilon_f = 0.83 \%$ $E_s = 7210 \text{ N/mm}^2$
 Schema
di
rottura
 

Note

 Lo Sperimentatore
Alessandro Spano'
 

 Il Direttore del laboratorio
Ing. Vincenzo Canzoneri
 

Verbale di accettazione 016/2004

Certificato n° -

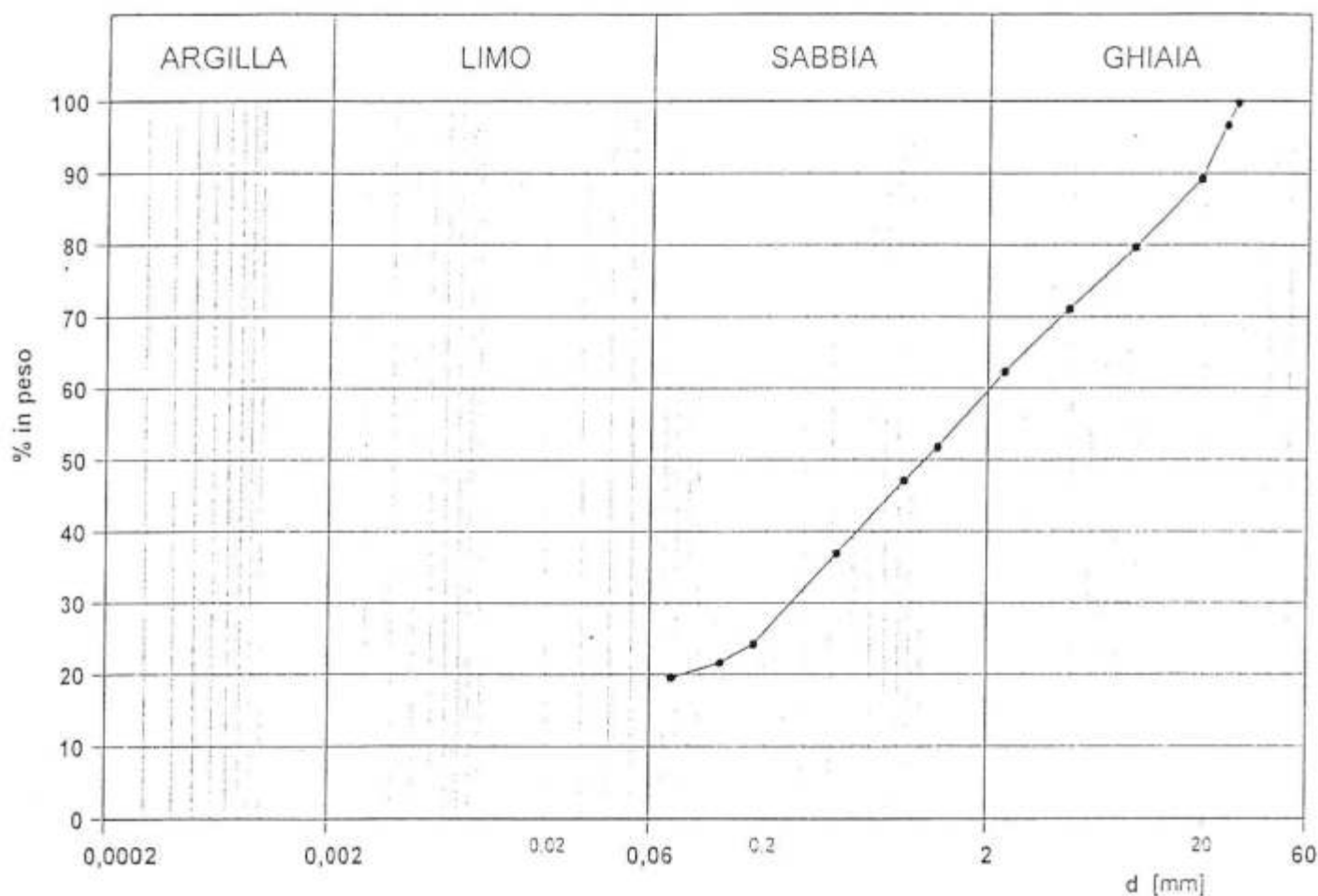
Richiedente Ing. Francesco Giordano

Lavoro Isola di Salina - Comune di Malfa

Sondaggio ST5 Campione C2 Profondità da m 6.00 a m 6.50

Data arrivo 19/2/2004 Data prova 12/3/2004

ANALISI GRANULOMETRICA - ASTM D-422 (1998)



Composizione granulometrica Sabbia con ghiaia limosa

$$U = \frac{d_{60}}{d_{10}} =$$

% < d = 0,002 mm

Note

Lo Sperimentatore
 Alessandro Spano

Il Direttore del laboratorio
 Ing. Vincenzo Canzoneri

Verbale di accettazione 016/2004

Certificato n° -

Richiedente Ing. Francesco Giordano

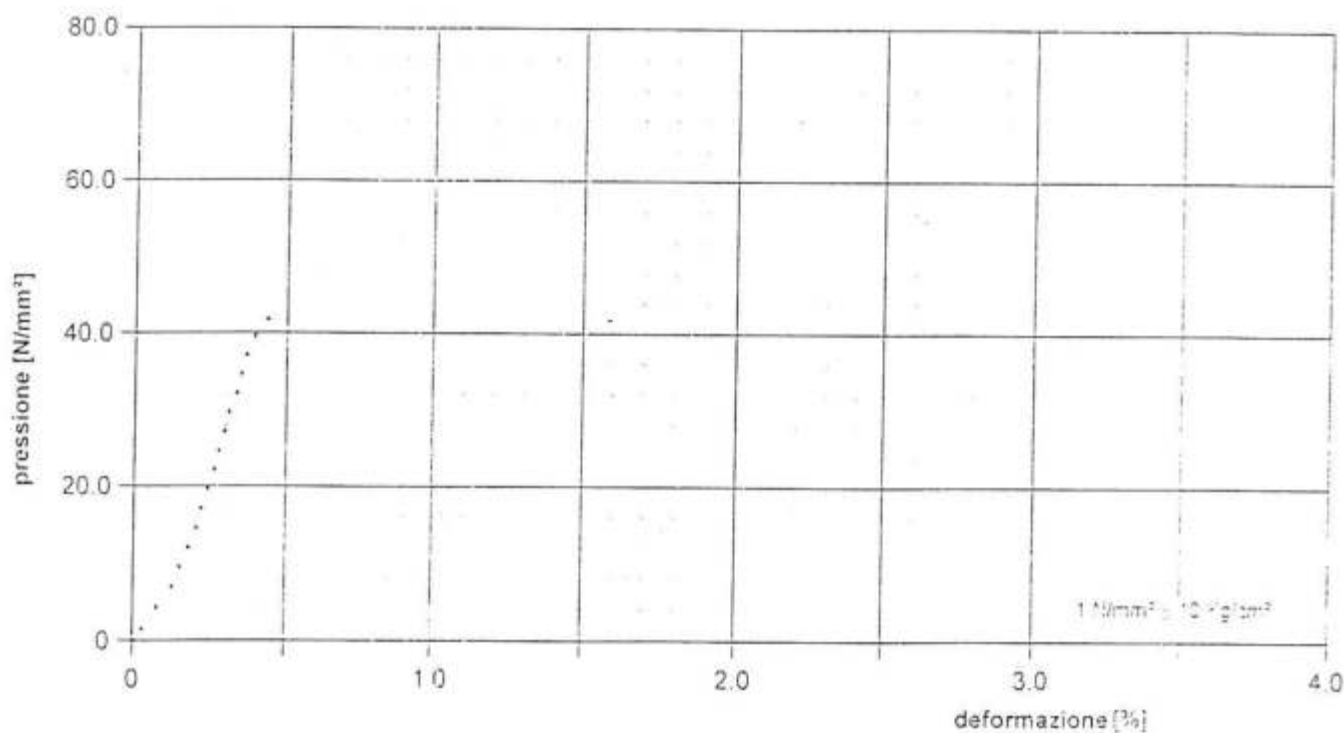
Lavoro Isola di Salina - Comune di Malfa

Sondaggio ST5 Campione C3 Profondità da m 15.00 a m 15.25

Data arrivo 19/2/2004 Data prova 4/3/2004

PROVA A COMPRESSIONE SU PROVINI CILINDRICI - ASTM D-2166

d = 82 mm w =
 h = 175 mm $\gamma = 24.4 \text{ KN/m}^3$
 $S_0 = 5281 \text{ mm}^2$ v = 0.75 $\text{N/mm}^2/\text{sec}$



$\sigma_f = 41.81 \text{ N/mm}^2$ $E_t = 13000 \text{ N/mm}^2$

$\varepsilon_f = 0.44 \%$ $E_s = 8160 \text{ N/mm}^2$

Schema
 di
 rottura



Note

Lo Sperimentatore
 Alessandro Spagno

Il Direttore del laboratorio
 Ing. Vincenzo Canzonieri

Verbale di accettazione 016/2004

Certificato n° -

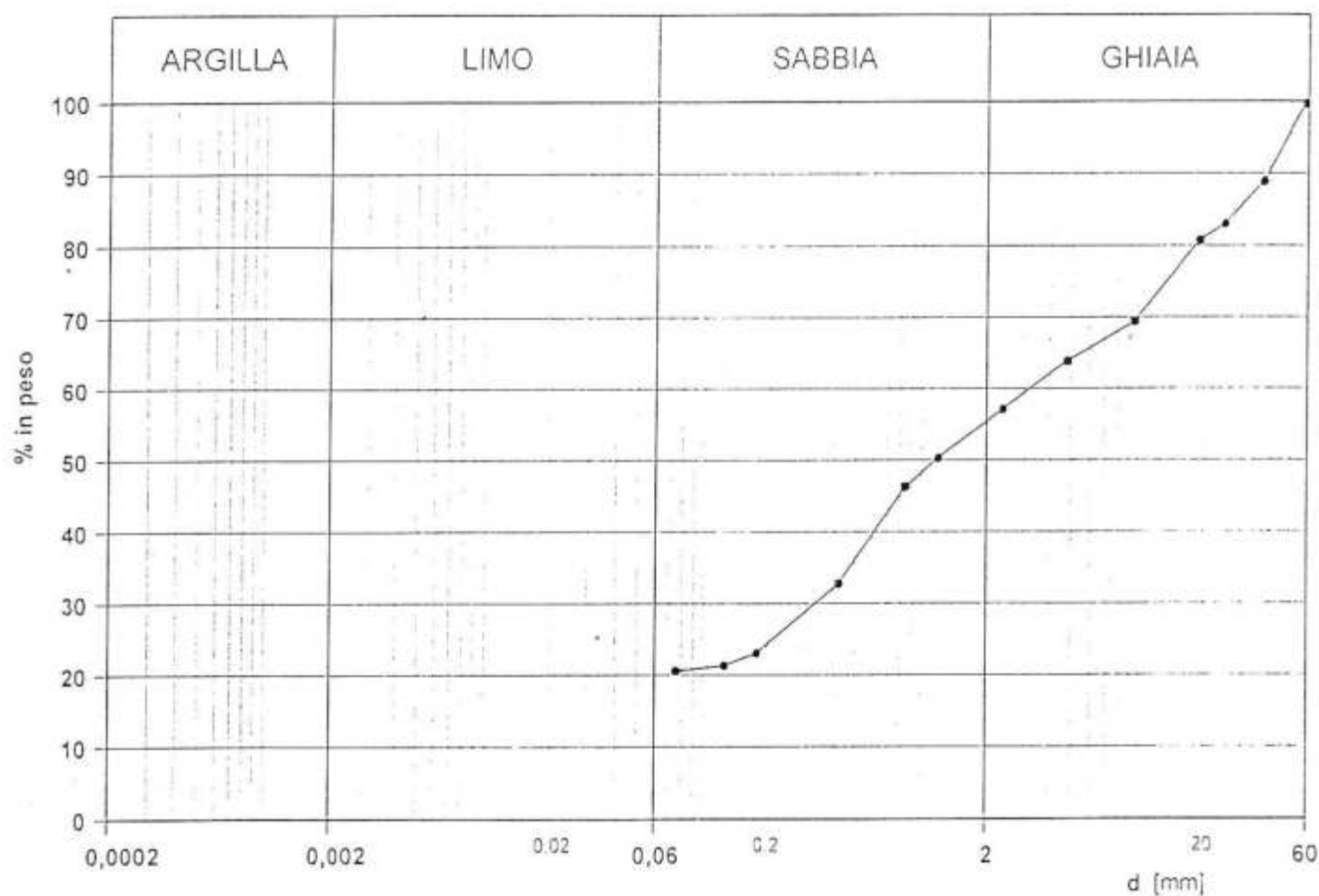
Richiedente Ing. Francesco Giordano

Lavoro Isola di Salina - Comune di Malfa

Sondaggio ST6 Campione C1 Profondità da m 3.00 a m 3.50

Data arrivo 19/2/2004 Data prova 12/3/2004

ANALISI GRANULOMETRICA - ASTM D-422 (1998)



Composizione granulometrica Sabbia con ghiaia limosa

$$U = \frac{d_{50}}{d_{10}} =$$

% < d = 0,002 mm

Note



Lo Sperimentatore
Alessandro Spano

Il Direttore del laboratorio
Ing. Vincenzo Canzoneri

Appendice C

Indagine sismica MASW

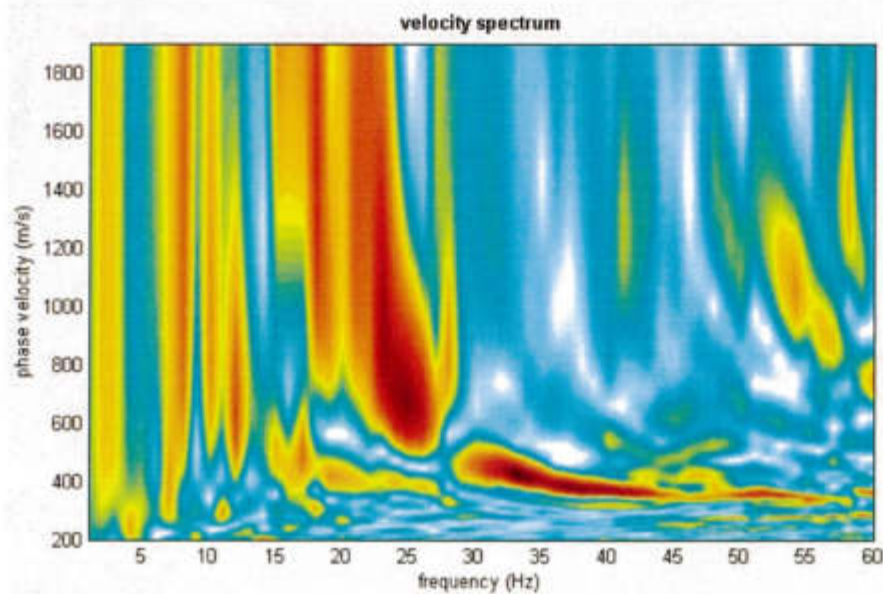
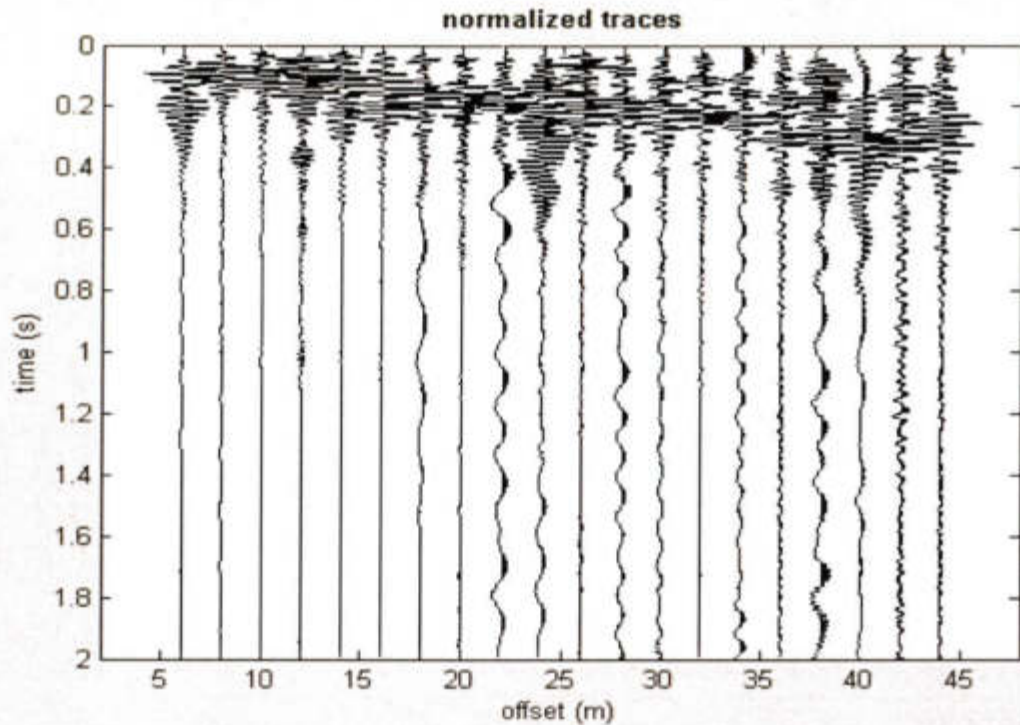
MASW - Sismogramma, spettro di velocità e colonna sismostratigrafica

dataset: 2019-05-03_2-58-37_04000_0200_020_s_tckAv_s_EG2.dat

minimum offset: 6 m

geophone spacing: 2 m

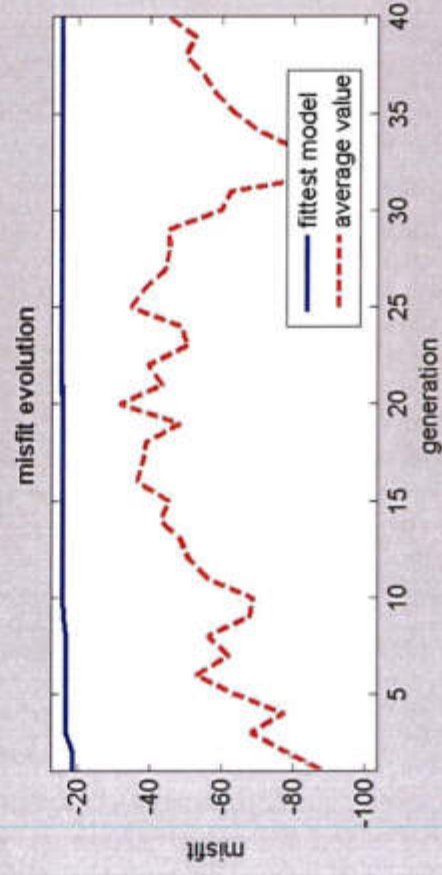
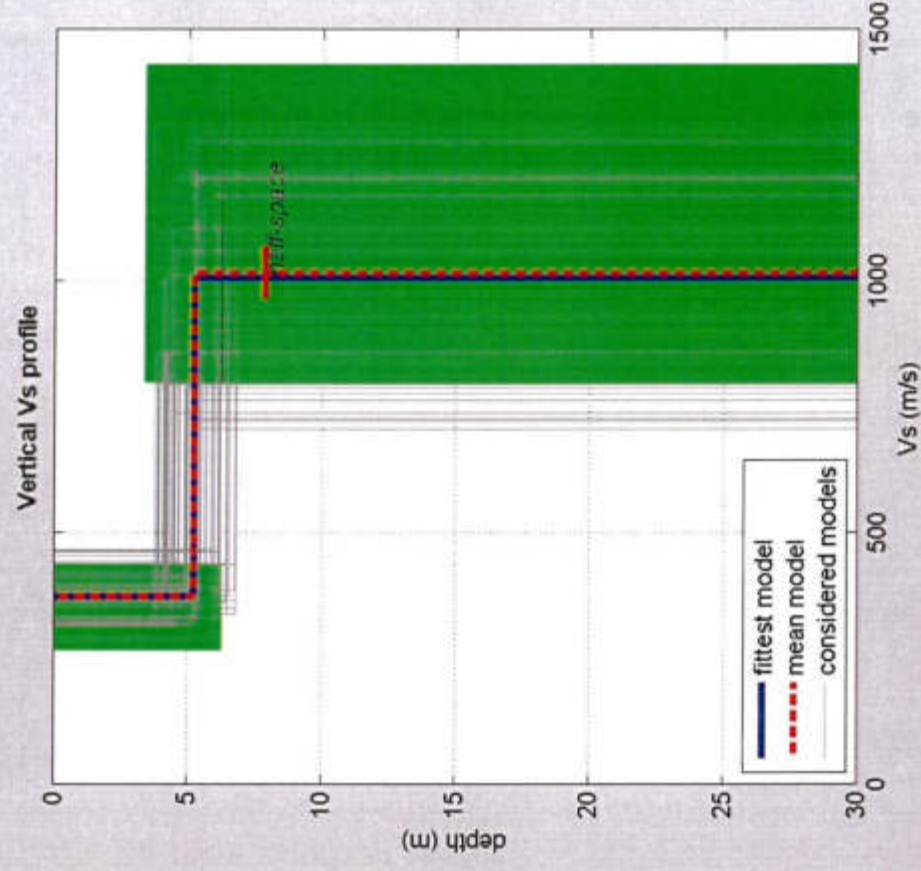
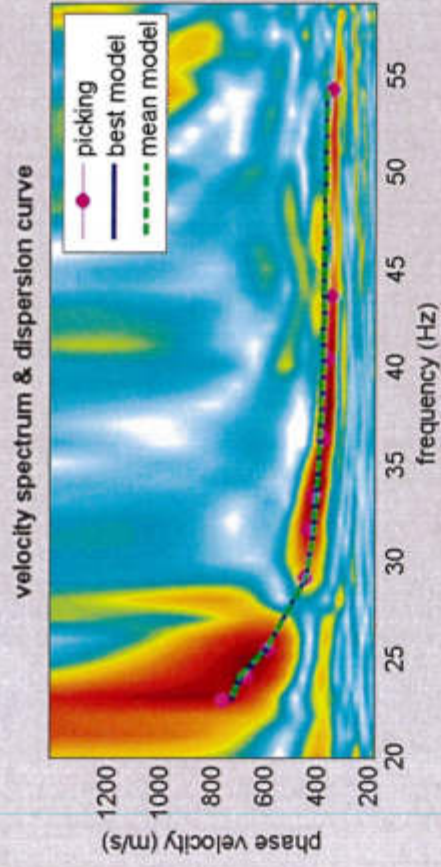
sampling: 0.25 ms



V_s	spessore
(m/s)	(m)



MASW - Risultati inversione della curva di dispersione





Indagine sismica stesa MASW

Appendice D

**Misure di microtremore
ambientale HVSr**

Legenda

Parametri Criteri SESAME (2004)

L_w	Lunghezza finestra di analisi
n_w	n. di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	n. di cicli significativi
f	frequenza
f_0	H/V frequenza di picco
σ_f	Deviazione standard del picco di frequenza H/V
$\varepsilon(f_0)$	Valore di soglia delle condizioni di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	Ampiezza di picco H/V alla frequenza f_0
$A_{H/V}(f)$	Curva di ampiezza H/V alla frequenza f
f^-	Frequenza compresa fra $f_0/4$ e f_0 per cui $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	Frequenza compresa fra f_0 e $4f_0$ per cui $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	Deviazione standard di $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ è il fattore per cui la curva media $A_{H/V}(f)$ deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	Deviazione standard della curva $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	Valore di soglia delle condizioni di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Valori di soglia per σ_f , $\sigma_A(f_0)$					
Intervallo di Freq [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

Classificazione delle misure H/V (Albarello e Castellaro, 2011)

Classe A: H/V affidabile e interpretabile: può essere utilizzata anche da sola

1. la forma dell'H/V nell'intervallo di frequenze di interesse rimane stazionaria per almeno il 30% circa della durata della misura (*stazionarietà*)
2. le variazioni azimuthali di ampiezza non superano il 30% del massimo (*isotropia*)
3. non ci sono indizi di rumore elettromagnetico nella banda di frequenza di interesse (*assenza di disturbi*)
4. i massimi sono caratterizzati da una diminuzione localizzata di ampiezza dello spettro verticale (*plausibilità fisica*)
5. i criteri di SESAME per una curva H/V attendibile (primi 3 criteri) sono verificati (*robustezza statistica*)
6. la misura è durata almeno 15/20 minuti (*durata*)

Eccezione: misure effettuate su roccia integra affiorante o in zone alluvionali fini con basamento sismico molto profondo (curva H/V piatta e con ampiezza circa pari a 1, il criterio 5 risulterà non verificato anche se la misura è di fatto attendibile).

Classe B: curva H/V sospetta (da "interpretare"): va utilizzata con cautela e solo se coerente con altre misure ottenute nelle vicinanze

1. almeno una delle condizioni della classe A non è soddisfatta, a condizione che non si rientri nell'eccezione citata per la Classe A

Classe C: curva H/V scadente e di difficile interpretazione: non va utilizzata

1. misura di tipo B nella quale la curva H/V mostra una ampiezza crescente al diminuire della frequenza (deriva), indice di un movimento dello strumento durante la misura
2. misura di tipo B nella quale si evidenzia la presenza di rumore elettromagnetico nell'intervallo di frequenze di potenziale interesse

Sottoclassi A e B

Tipo 1. Presenta almeno un picco "chiaro" secondo i criteri di SESAME: *possibile risonanza*

Tipo 2. Non presenta picchi "chiaro" nell'intervallo di frequenze di interesse: *assenza di risonanza*

MT1 – Scalo Galera – Comune di Malfa, Isola di Salina

Inizio registrazione: 03/05/19 13:11:53

Fine registrazione: 03/05/19 13:31:54

Lunghezza traccia: 0h20'00" – Frequenza di campionamento: 128 Hz – Orientazione: Nord

Annotazioni di campagna sull'acquisizione delle misure

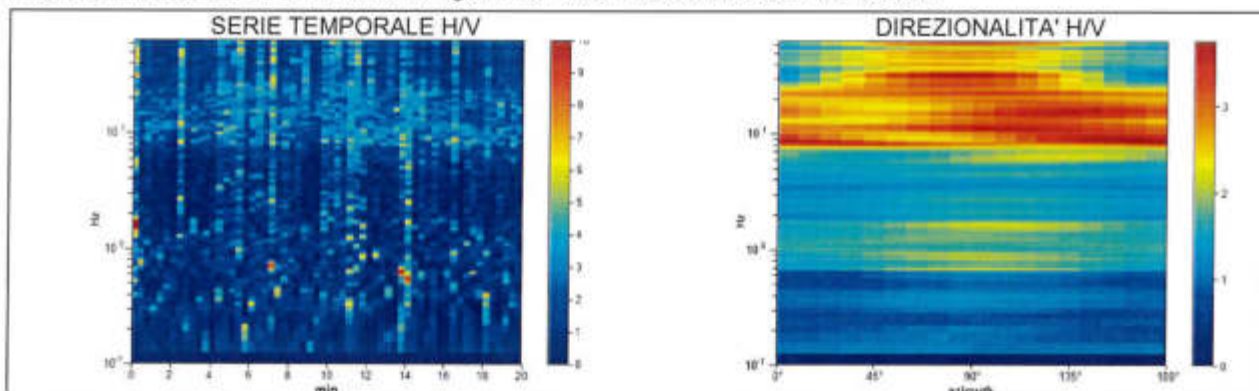
CONDIZIONI METEOROLOGICHE	VENTO	☒ assente	☐ debole (5 m/s)	☒ medio	☐ forte
	PIOGGIA	☐ assente	☒ debole	☐ media	☐ forte
TIPO DI SUOLO	☐ terra	☐ ghiaia	☐ sabbia	☐ roccia	☐ erba bassa
	☐ asfalto	☒ cemento	☐ pavimentazione	☐ altro	
	☐ suolo asciutto	☐ suolo umido	Note		
DENSITÀ EDIFICATO	☐ nulla	☐ sparsa	☐ alta	Note:	

TRANSIENTI	nessuno	isolati	pochi	molti	frequentissimi	distanza	SORGENTI DI NOISE MONOCROMATICO (industrie, lavori, motori, etc.)	
							☒ no	☐ si
auto							STRUTTURE VICINE (alberi, edifici, ponti, strutture sotterranee, etc.)	
camion								
pedoni								
altro								



Ubicazione del sensore nel punto di misura MT1

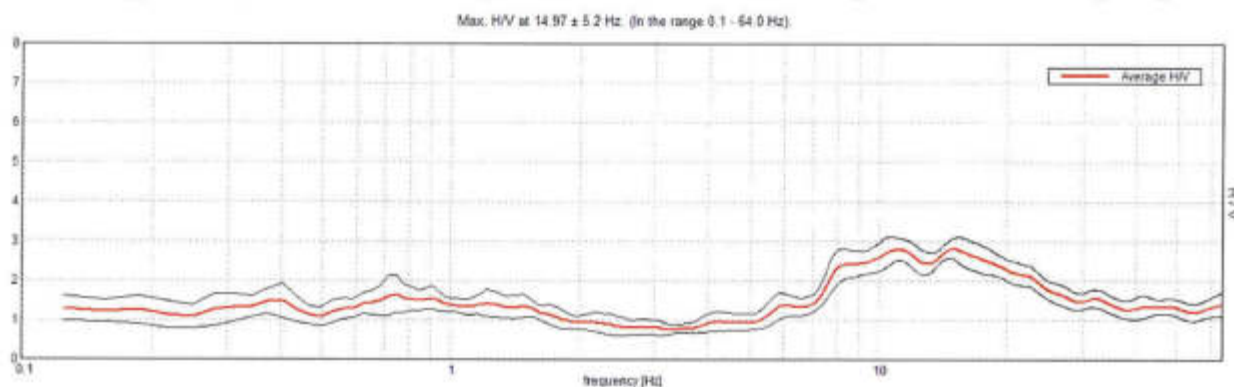
Finestra di analisi: 20 s - Lisciamento: triangolare 5%. Analisi effettuata sull'intera traccia.



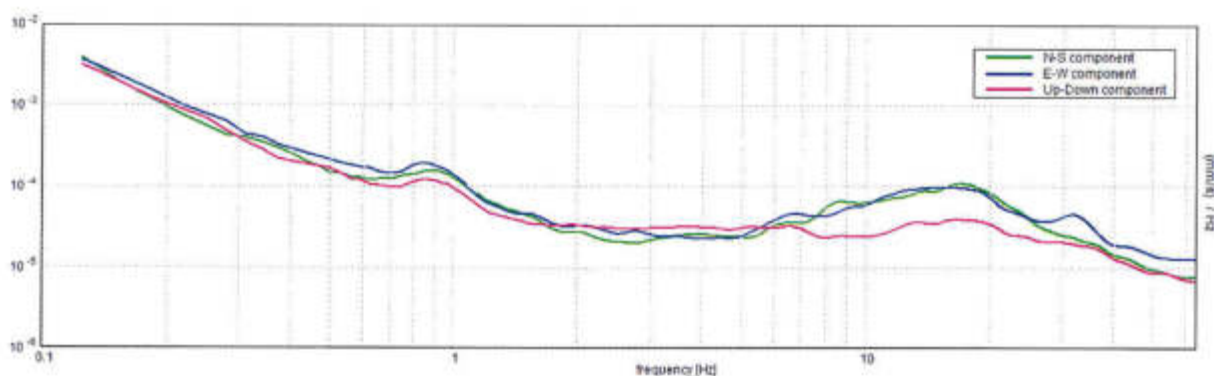
Fase interpretativa:

Finestra di analisi: 20 s - Lisciamento: triangolare 10%. Analizzato il 30% dell'intero tracciato.

Rapporto spettrale tra le componenti orizzontali e la componente verticale (H/V)



Ampiezza spettrale delle singole componenti



[In accordo alle linee guida del SESAME, 2004]

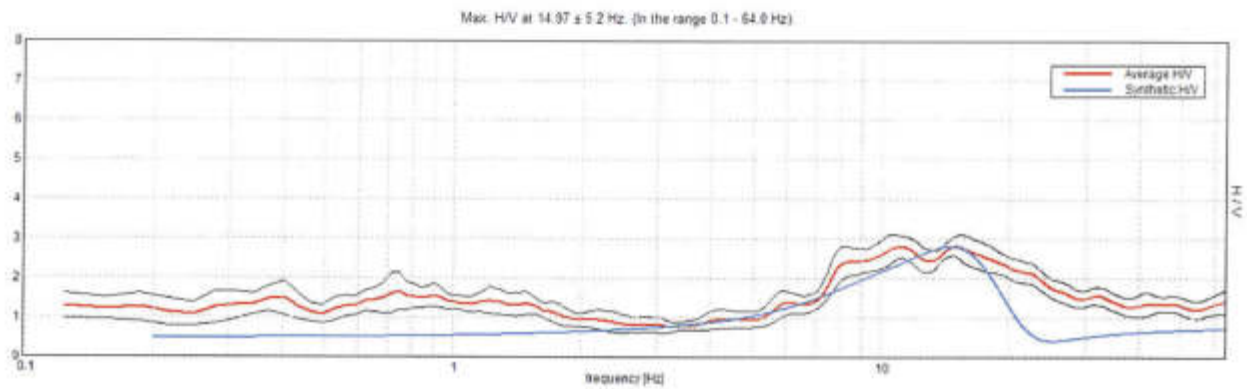
Picco H/V a 14.97 ± 5.2 Hz (nell'intervallo 0.1 - 64.0 Hz).

- **Criteri di affidabilità di una curva HVSR** [tutti i 3 criteri devono essere soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$14.97 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$5388.8 > 200$	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 $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 720	OK	
Criteri per un chiaro picco HVSR [almeno 5 su 6 devono essere soddisfatti]			
Exists f^* in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^*) < A_0 / 2$	6.969 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	34.875 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$2.82 > 2$	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.34727 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$5.19826 < 0.74844$		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.2563 < 1.58$	OK	

Classe B: La curva HV presenta un ampio intervallo di frequenze leggermente amplificate in cui si osservano fenomeni di polarizzazione della sorgente di energia sismica.

H/V - Modello sperimentale – Modello sintetico



Profondità alla base dello strato
[m]
1.00
7.60
27.60
inf.

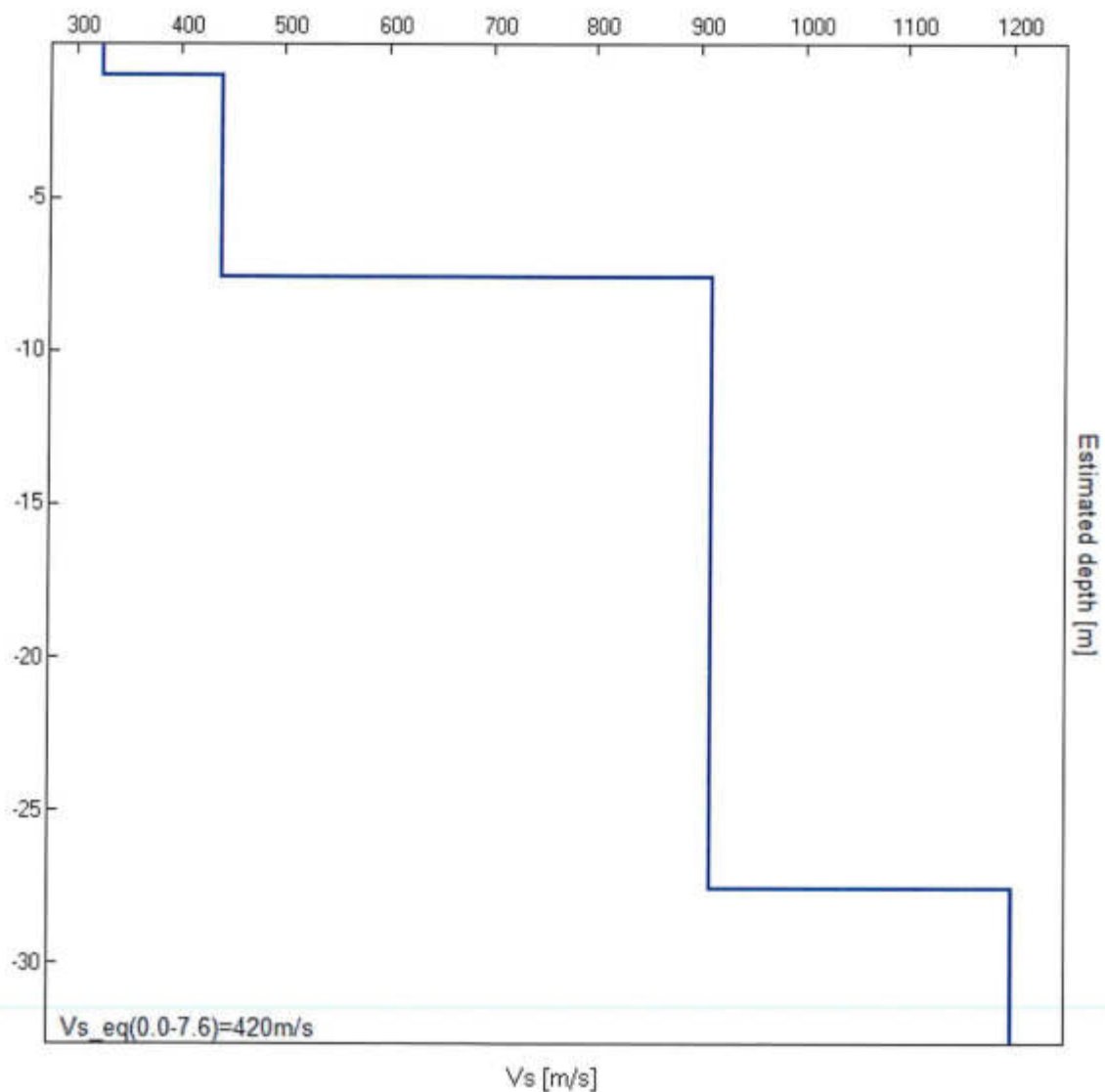
Spessore [m]

1.00
6.60
20.00
inf.

Vs [m/s]

325
440
910
1200

$V_{s_{eq}} = 420 \text{ m/s}$



MT2 – Scalo Galera – Comune di Malfa, Isola di Salina

Inizio registrazione: 03/05/19 13:47:25

Fine registrazione: 03/05/19 14:07:26

Lunghezza traccia: 0h20'00" – Frequenza di campionamento: 128 Hz – Orientazione: Nord

Annotazioni di campagna sull'acquisizione delle misure

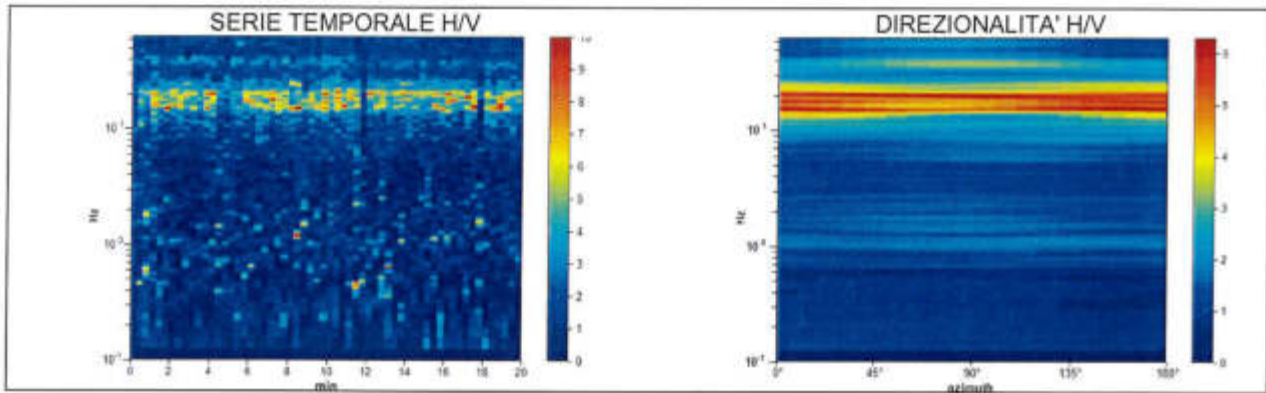
CONDIZIONI METEOROLOGICHE	VENTO	☒ assente	☐ debole (5 m/s)	☒ medio	☐ forte
	PIOGGIA	☐ assente	☒ debole	☐ media	☐ forte
TIPO DI SUOLO	☐ terra	☐ ghiaia	☐ sabbia	☐ roccia	☐ erba bassa
	☐ asfalto	☒ cemento	☐ pavimentazione	☐ altro	
	☐ suolo asciutto	☐ suolo umido	Note		
DENSITÀ EDIFICATO	☐ nulla	☐ sparsa	☐ alta	Note:	

TRANSIENTI	nessuno	isolati	pochi	molti	frequenti	distanza	SORGENTI DI NOISE MONOCROMATICO (industrie, lavori, motori, etc.)
							☒ no ☐ si
auto							STRUTTURE VICINE (alberi, edifici, ponti, strutture sotterranee, etc.) (descrizione, altezza, distanza)
camion							
pedoni							
altro							



Ubicazione del sensore nel punto di misura MT2

Finestra di analisi: 20 s - Lisciamento: triangolare 5%. Analisi effettuata sull'intera traccia.

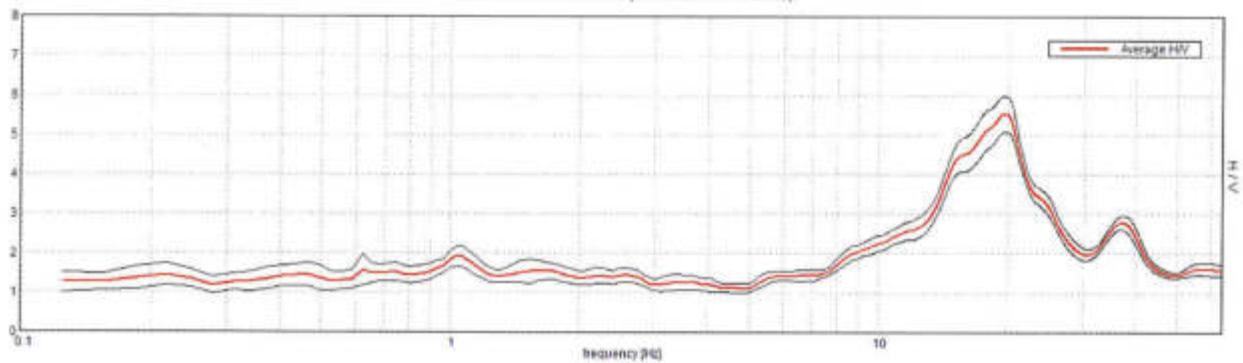


Fase interpretativa:

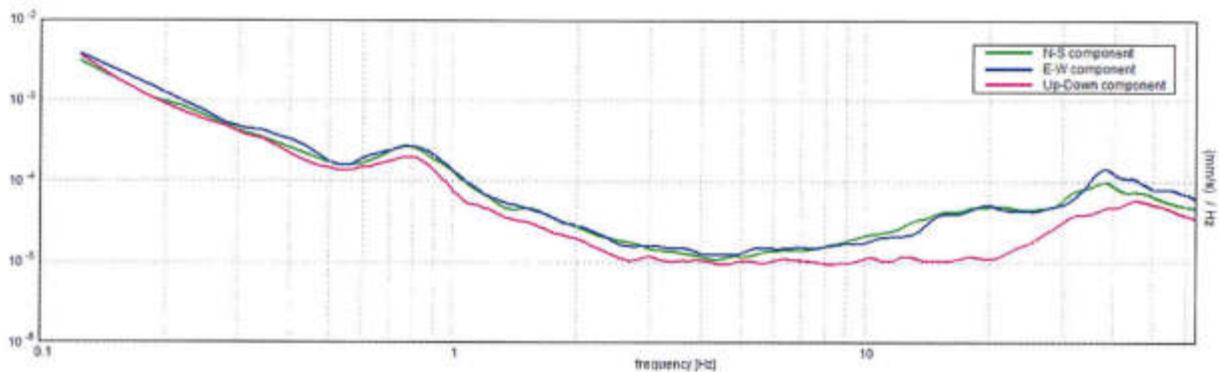
Finestra di analisi: 20 s - Lisciamento: triangolare 10%. Analizzato il 55% dell'intero tracciato.

Rapporto spettrale tra le componenti orizzontali e la componente verticale (H/V)

Picco H/V a 19.63 ± 2.18 Hz (nell'intervallo 0.1 - 64.0 Hz).



Ampiezza spettrale delle singole componenti



[In accordo alle linee guida del SESAME, 2004]

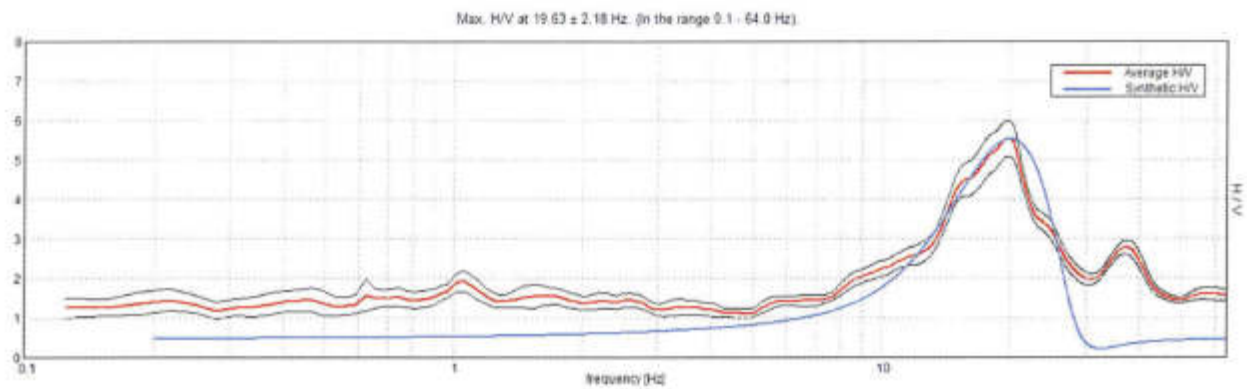
Picco H/V a 19.63 ± 2.18 Hz (nell'intervallo 0.1 - 64.0 Hz).

- **Criteri di affidabilità di una curva HVSR** [tutti i 3 criteri devono essere soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$19.63 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$12952.5 > 200$	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 $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 943	OK	
Criteri per un chiaro picco HVSR [almeno 5 su 6 devono essere soddisfatti]			
Exists f^* in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^*) < A_0 / 2$	12.813 Hz	OK	
Exists f^* in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^*) < A_0 / 2$	26.188 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$5.53 > 2$	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.11105 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$2.1793 < 0.98125$		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.4521 < 1.58$	OK	

Classe B: La curva HV presenta picchi predominanti ad alta frequenza di grande ampiezza. Si osservano leggeri fenomeni di polarizzazione della sorgente di energia sismica nell'ambito dell'intervallo delle frequenze massime.

H/V - Modello sperimentale – Modello sintetico



Profondità alla base dello strato
[m]
5.00
18.00
inf.

Spessore [m]
5.00
13.00
inf.

Vs [m/s]
380
900
1200

$V_{s_{eq}} = 380 \text{ m/s}$

