



REGIONE SICILIA
Assessorato regionale dell'energia
e dei servizi di pubblica utilità
Dipartimento regionale dell'acqua e dei rifiuti



DIGA GIBBESI

RIVALUTAZIONE SISMICA, STUDIO DELLE PRESSIONI NEUTRE E
MOTI DI FILTRAZIONE, PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO
ECONOMICA, DEFINITIVA ED ESECUTIVA, MANUTENZIONE
STRAORDINARIA STRADA DI COLLEGAMENTO CASA DI GUARDIA
- POZZO - PARATOIE E RIEFFICIENTAMENTO STRUMENTAZIONE
DI MONITORAGGIO E CONTROLLO

F

INDAGINI IN SITU E PROVE DI LABORATORIO

RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO :

Dott. Ing. Antonino Margagliotta

ASSOCIAZIONE TEMPORANEA DI IMPRESE TRA:

Mandataria

Mandanti



GEO R.A.S. s.r.l.

REDAZIONE DELL'ELABORATO

SOCIETA' :

GEO R.A.S. srl

GEO R.A.S. s.r.l.
RESPONSABILE Amministratore Unico
Dott. Geologo Giuseppe La Spina

Dott. Geol. Giuseppe La Spina

DIREZIONE DI PROGETTO PER L'ATI :

TECHNITAL S.p.A.

Dott. Ing. Simone Venturini

TITOLO ELABORATO:

INDAGINI E PROVE DI LABORATORIO E IN SITU
INDAGINI GEOTECNICHE IN SITO
RELAZIONE SULLE ATTIVITA' IN SITO

ELABORATO N° :

II122F-F-GEO-RT-001-00

		ELABORATO	CONTROLLATO	APPROVATO		
SIGLA		L. D'Izzia	S. La Spina	G. La Spina		
REVISIONE	N.	DESCRIZIONE			RED.	VER.
	1	00	Emissione Maggio 2021			L.D.
	2					A.R.
	3					S.V.

NOME FILE :



II122F_F_GEO_RT_001_00.pdf

DATA :

Maggio 2021

SCALA :

-

REPUBBLICA ITALIANA 	Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità Dipartimento Regionale Dell'Acqua e dei Rifiuti DIGA GIBBESI INDAGINI E PROVE DI LABORATORIO E IN SITU INDAGINI GEOTECNICHE IN SITO	REGIONE SICILIANA 
II122F F-GEO - RT-001-00	RELAZIONE SULLE ATTIVITÀ IN SITO	Pag. 1 di 17



Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità
 Dipartimento Regionale Dell'Acqua e dei Rifiuti

DIGA GIBBESI

**PROGETTO PER L'AFFIDAMENTO DEI SERVIZI DI INGEGNERIA RELATIVI
 ALLO STUDIO DI RIVALUTAZIONE SISMICA DELLE OPERE STRUTTURALI
 DELL'IMPIANTO, ALLA PROGETTAZIONE ESECUTIVA DELLA MANUTEN-
 ZIONE STRAORDINARIA DELLA STRADA DI COLLEGAMENTO CASA DI GUAR-
 DIA – POZZO PARATOIE, ALLO STUDIO INTERPRETATIVO E ALLA PROGET-
 TAZIONE ESECUTIVA DEL RIEFFICIENTAMENTO DELLA STRUMENTAZIONE
 DI MONITORAGGIO E CONTROLLO**



INDAGINI E PROVE DI LABORATORIO E IN SITU INDAGINI GEOTECNICHE IN SITO

RELAZIONE SULLE ATTIVITÀ IN SITO

REPUBBLICA ITALIANA 	Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità Dipartimento Regionale Dell'Acqua e dei Rifiuti DIGA GIBBESI INDAGINI E PROVE DI LABORATORIO E IN SITU INDAGINI GEOTECNICHE IN SITO	REGIONE SICILIANA 
II122F F-GEO - RT-001-00	RELAZIONE SULLE ATTIVITÀ IN SITO	Pag. 2 di 17

INDICE

1.	PREMESSA	3
2.	SONDAGGI GEOGNOSTICI	4
3.	PRELIEVO DI CAMPIONI	7
4.	PROVE PENETROMETRICHE SPT	9
4.1.	Correlazioni	10
4.1.1.	Terreni granulari	11
4.1.2.	Terreni coesivi	12
5.	INSTALLAZIONI IN FORO	13
5.1.	Condizionamento dei fori di sondaggio per le prove Down-Hole (DH)	13
6.	PROVA DOWN-HOLE	14
6.1.	Procedure di acquisizione	15
6.2.	Strumentazione	17
6.3.	Elaborazione dei dati acquisiti	17
7.	INDAGINE DI SISMICA ATTIVA MASW	18
7.1.	Procedure di acquisizione	18
7.2.	Strumentazione impiegata	20
7.3.	Elaborazione dei dati acquisiti	20
8.	TOMOGRAFIA SISMICA	21
8.1.	Procedure di acquisizione	21
8.2.	Strumentazione impiegata	23
8.3.	Elaborazione dati acquisiti	23

 REPUBBLICA ITALIANA	Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità Dipartimento Regionale Dell'Acqua e dei Rifiuti DIGA GIBBESI INDAGINI E PROVE DI LABORATORIO E IN SITU INDAGINI GEOTECNICHE IN SITO	REGIONE SICILIANA 
II122F F-GEO - RT-001-00	RELAZIONE SULLE ATTIVITÀ IN SITO	Pag. 3 di 17

1. PREMESSA



Su incarico dell'Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità Dipartimento Regionale Dell'Acqua e dei Rifiuti la ditta GEO R.A.S. S.r.l. facente parte del Raggruppamento Temporaneo (Sering, Technital, Orion, MetroTest, e GEO R.A.S.), nel periodo aprile-maggio 2021 ha effettuato una campagna di indagini geognostiche e geofisiche nell'ambito della "Rivalutazione della sicurezza sismica delle opere accessorie della diga Gibbesi".

I servizi sono stati svolti attraverso le seguenti fasi operative:

- Esecuzione di n. 24 sondaggi geognostici a carotaggio continuo;
- Prelievo di n. 23 campioni indisturbati e n. 9 campioni rimaneggiati di terreno da sottoporre ad analisi e prove geotecniche di laboratorio;
- Esecuzione di n. 9 prove penetrometriche SPT (Standard Penetration Test) in foro;
- Installazione di n. 6 tubazioni per prova geofisica Down-Hole;
- Esecuzione di n. 3 prove di sismica attiva MASW;
- Esecuzione di n. 5 tomografie sismiche;
- Esecuzione di n. 6 prove di sismica Down-Hole entro le tubazioni installate nei fori di sondaggio.

La planimetria con l'ubicazione delle indagini in sito è riportata nell'elaborato allegato.

Di seguito vengono espone le modalità operative delle indagini svolte.

<p>REPUBBLICA ITALIANA</p> 	<p>Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità Dipartimento Regionale Dell'Acqua e dei Rifiuti</p> <p>DIGA GIBBESI</p> <p>INDAGINI E PROVE DI LABORATORIO E IN SITU</p> <p>INDAGINI GEOTECNICHE IN SITO</p>	<p>REGIONE SICILIANA</p> 
<p>II122F F-GEO - RT-001-00</p>	<p>RELAZIONE SULLE ATTIVITÀ IN SITO</p>	<p>Pag. 4 di 17</p>

2. SONDAGGI GEOGNOSTICI

Sono stati eseguiti complessivamente n. 24 sondaggi geognostici ad andamento verticale, con diametro di perforazione pari a 101 mm ed impiego di carotieri semplici e doppi, per il campionamento ottimale dei litotipi riscontrati.

A causa del comportamento incoerente del terreno, ove necessario, è stato fatto uso del rivestimento provvisorio mediante l'impiego di tubazione metallica di manovra (diam. 127 mm) per le profondità occorrenti, allo scopo di evitare il franamento delle pareti del foro, così da consentire il corretto carotaggio del terreno, oltre al campionamento dello stesso sino alle quote prefissate.

I sondaggi geognostici sono stati effettuati mediante perforatrici idrauliche marca CO-MACCHIO modello GEO601 e marca ATLAS COPCO modello A65.

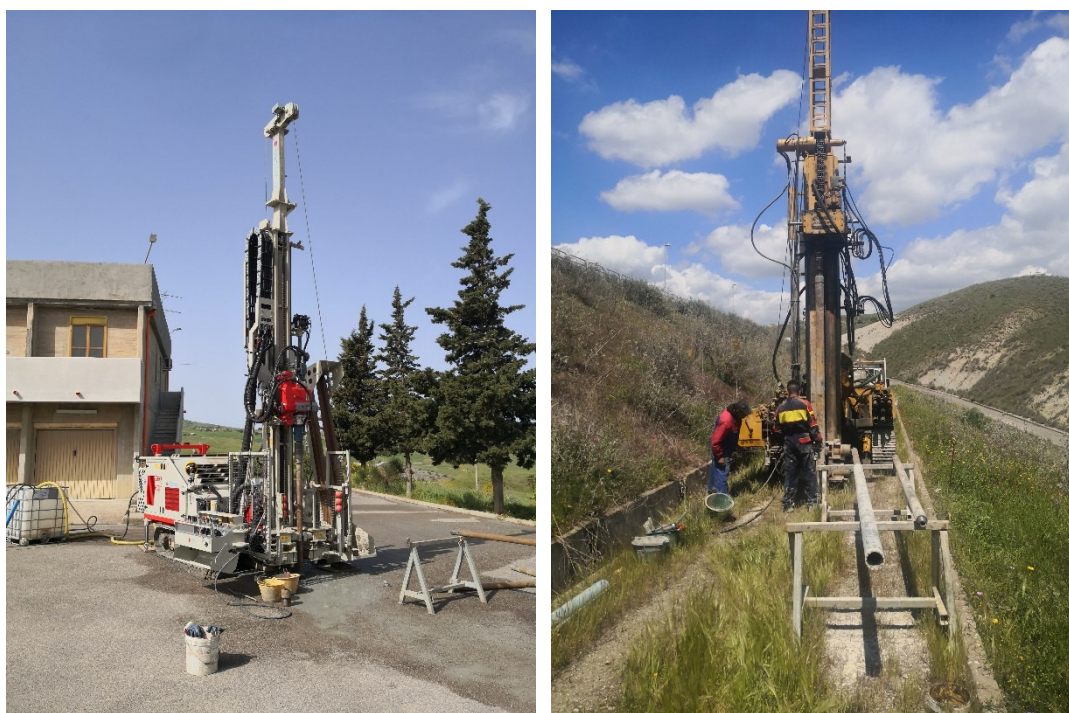


Fig. 1 – A sinistra foto postazione perforatrice COMACCHIO GEO 601 in corrispondenza del sondaggio N25 DH, a destra foto postazione perforatrice ATLAS COPCO A65 in corrispondenza del sondaggio N3.

Le carote estratte sono state riposte in cassette catalogatrici, munite di coperchio e scomparti divisorii, con indicazione della relativa profondità di prelievo.

Di seguito la Tabella 2-1 riepilogativa con l'elenco dei sondaggi eseguiti.



REPUBBLICA ITALIANA 	Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità Dipartimento Regionale Dell'Acqua e dei Rifiuti DIGA GIBBESI INDAGINI E PROVE DI LABORATORIO E IN SITU INDAGINI GEOTECNICHE IN SITO	REGIONE SICILIANA 
II122F F-GEO - RT-001-00	RELAZIONE SULLE ATTIVITÀ IN SITO	Pag. 5 di 17

Tabella 2-1 – Sondaggi geognostici eseguiti

Sondaggio	Lungh. (m)	Lunghezza rivestimento (m)	Strumentazione installata
N1	30.00	3.00	-
N2	35.00	3.00	-
N3	30.00	18.00	-
N4 DH	40.00	4.50	Tubazione DH 3"
N5	30.00	9.00	-
N6	45.00	4.50	-
N7	15.00	13.50	-
N8	50.00	4.50	-
N9	40.00	4.50	-
N10 DH	30.00	4.50	Tubazione DH 3"
N11	22.00	18.00	-
N12	15.00	4.50	-
N13 DH	30.00	21.00	Tubazione DH 3"
N14	18.00	10.50	-
N15	20.00	9.00	-
N16	15.00	4.50	-
N17	10.00	3.00	-
N18	20.00	9.00	-
N19 DH	30.00	12.00	Tubazione DH 3"
N20	20.00	6.00	-
N21	20.00	6.00	-
N23	20.00	1.50	-
N24 DH	30.00	6.00	Tubazione DH 3"
N25 DH	30.00	3.00	Tubazione DH 3"





REPUBBLICA ITALIANA 	Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità Dipartimento Regionale Dell'Acqua e dei Rifiuti DIGA GIBBESI INDAGINI E PROVE DI LABORATORIO E IN SITU INDAGINI GEOTECNICHE IN SITO	REGIONE SICILIANA 
II122F F-GEO - RT-001-00	RELAZIONE SULLE ATTIVITÀ IN SITO	Pag. 6 di 17



Fig. 2 – Cassetta catalogatrice n.1 del sondaggio N1 contenente le carote di terreno estratte nell'intervallo di quote 0.00 ÷ 5.00 m dal p.c.

Per la consultazione dei dettagli stratigrafici rilevati si rimanda all'elaborato "Sondaggi geognostici".

REPUBBLICA ITALIANA 	Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità Dipartimento Regionale Dell'Acqua e dei Rifiuti DIGA GIBBESI INDAGINI E PROVE DI LABORATORIO E IN SITU INDAGINI GEOTECNICHE IN SITO	REGIONE SICILIANA 
II122F F-GEO - RT-001-00	RELAZIONE SULLE ATTIVITÀ IN SITO	Pag. 7 di 17

3. PRELIEVO DI CAMPIONI

Nel corso dei sondaggi sono stati prelevati n. 23 campioni indisturbati e n. 9 campioni rimaneggiati di terreno da sottoporre ad analisi e prove di laboratorio.

I campioni indisturbati sono stati prelevati mediante l'impiego di campionatore Shelby di diametro 88,9 mm e fustella in acciaio inox, a pareti sottili (sp. 2 mm).

Nella tabella si riporta il riepilogo dei campioni prelevati.

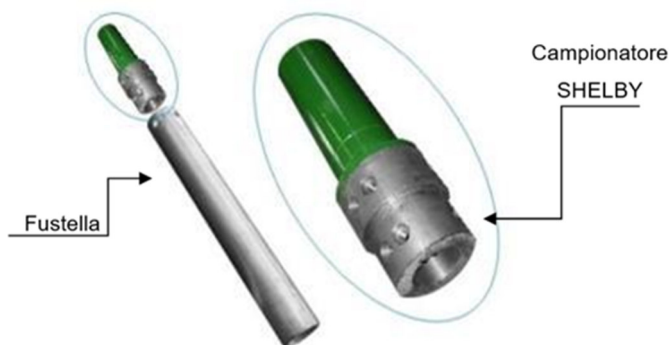


Fig. 3 – Campionatore a pareti sottili utilizzato per il prelievo dei campioni indisturbati





 REPUBBLICA ITALIANA	Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità Dipartimento Regionale Dell'Acqua e dei Rifiuti DIGA GIBBESI INDAGINI E PROVE DI LABORATORIO E IN SITU INDAGINI GEOTECNICHE IN SITO	REGIONE SICILIANA 
II122F F-GEO - RT-001-00	RELAZIONE SULLE ATTIVITÀ IN SITO	Pag. 8 di 17

Tabella 3-1 – Campioni geotecnici prelevati

Sondaggio	Campione	Tipologia di campione	Materiale campionato	Intervallo di prelievo (m dal p.c.)
N2	C1	Indisturbato	Terra	10.00 ÷ 10.50
N4	C1	Indisturbato	Terra	20.00 ÷ 20.50
N4	C2	Indisturbato	Terra	37.65 ÷ 38.00
N6	C1	Indisturbato	Terra	15.00 ÷ 15.50
N6	C2	Indisturbato	Terra	44.50 ÷ 45.00
N7	C1	Rimaneggiato	Terra	2.50 ÷ 3.00
N7	C2	Rimaneggiato	Terra	8.50 ÷ 9.00
N7	C3	Rimaneggiato	Terra	11.50 ÷ 12.00
N8	C1	Indisturbato	Terra	35.00 ÷ 35.50
N9	C1	Indisturbato	Terra	30.00 ÷ 30.50
N10	C1	Indisturbato	Terra	15.00 ÷ 15.50
N11	C1	Indisturbato	Terra	17.50 ÷ 18.00
N12	C1	Indisturbato	Terra	12.50 ÷ 13.00
N13	C1	Rimaneggiato	Terra	2.00 ÷ 2.50
N13	C2	Rimaneggiato	Terra	8.00 ÷ 8.50
N13	C3	Rimaneggiato	Terra	13.00 ÷ 13.50
N13	C4	Rimaneggiato	Terra	16.50 ÷ 17.00
N13	C5	Indisturbato	Terra	20.00 ÷ 20.50
N14	C1	Rimaneggiato	Terra	4.50 ÷ 5.00
N14	C2	Rimaneggiato	Terra	9.50 ÷ 10.00
N14	C3	Indisturbato	Terra	12.00 ÷ 12.50
N15	C1	Indisturbato	Terra	3.00 ÷ 3.70
N15	C2	Indisturbato	Terra	15.00 ÷ 15.70
N16	C1	Indisturbato	Terra	12.00 ÷ 12.50
N17	C1	Indisturbato	Terra	9.50 ÷ 10.00
N18	C1	Indisturbato	Terra	14.50 ÷ 15.00
N19	C1	Indisturbato	Terra	5.00 ÷ 5.60
N19	C2	Indisturbato	Terra	25.00 ÷ 25.60
N20	C1	Indisturbato	Terra	5.00 ÷ 5.50
N21	C1	Indisturbato	Terra	18.00 ÷ 18.50
N23	C1	Indisturbato	Terra	14.00 ÷ 14.50
N24	C1	Indisturbato	Terra	9.50 ÷ 10.00
N25	C1	Indisturbato	Terra	20.00 ÷ 20.60

Per la consultazione dei risultati delle analisi e prove di laboratorio geotecnico si rimanda all'elaborato "Relazione sulle attività di laboratorio geotecnico".

<p>REPUBBLICA ITALIANA</p> 	<p>Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità Dipartimento Regionale Dell'Acqua e dei Rifiuti</p> <p>DIGA GIBBESI</p> <p>INDAGINI E PROVE DI LABORATORIO E IN SITU</p> <p>INDAGINI GEOTECNICHE IN SITO</p>	<p>REGIONE SICILIANA</p> 
<p>II122F F-GEO - RT-001-00</p>	<p>RELAZIONE SULLE ATTIVITÀ IN SITO</p>	<p>Pag. 9 di 17</p>

4. PROVE PENETROMETRICHE SPT

In fase di esecuzione dei sondaggi geognostici, a varie quote, sono state effettuate complessivamente n. 10 prove penetrometriche dinamiche discontinue tipo S.P.T. (acronimo di Standard Penetration Test).

Questa prova consiste nel far penetrare nel terreno un campionatore o, in alternativa, una punta chiusa conica, sotto i colpi di un maglio del peso di 63,5 kg che viene rilasciato in caduta libera da un'altezza di 76 cm. La battitura è stata effettuata con un penetrometro a fune e cabestano, posizionato in asse al foro di sondaggio mediante un gancio collegato all'organo di manovra.

Il maglio, battendo sulle aste che prolungano la punta, infigge il campionatore o la punta conica nel terreno. La prova viene eseguita nel corso di esecuzione del sondaggio geognostico, alla quota del tratto che si vuole testare. Le misure vengono rilevate per tre avanzamenti consecutivi di 15 cm ciascuno, contando il numero di colpi (N) necessari per ogni avanzamento (N1, N2, N3).

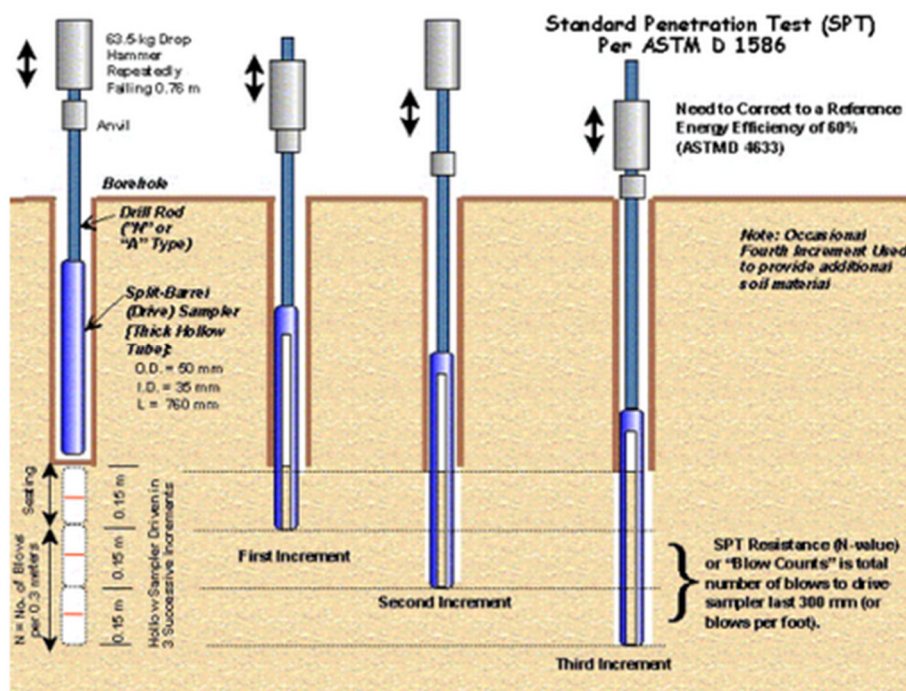


Fig. 4 – Fasi di esecuzione di una prova penetrometrica S.P.T.

Ai fini geotecnici si assume come resistenza alla penetrazione NSPT, la somma del numero di colpi rilevati negli ultimi due avanzamenti (N2+N3). Di seguito si riportano i valori NSPT acquisiti nella campagna geognostica:



 REPUBBLICA ITALIANA	Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità Dipartimento Regionale Dell'Acqua e dei Rifiuti DIGA GIBBESI INDAGINI E PROVE DI LABORATORIO E IN SITU INDAGINI GEOTECNICHE IN SITO	REGIONE SICILIANA 
II122F F-GEO - RT-001-00	RELAZIONE SULLE ATTIVITÀ IN SITO	Pag. 10 di 17

Tabella 4-1 – Esiti delle prove penetrometriche S.P.T.

Sondaggio	Quota inizio prova (m dal p.c.)	Tipo di punta	NSPT (N2+N3)
N5	4.00	Punta conica	R
N5	7.70	Campionatore Raymond	75
N7	3.00	Punta conica	62
N7	6.00	Punta conica	47
N7	9.60	Punta conica	R
N13	4.00	Punta conica	44
N13	8.00	Punta conica	R
N13	12.00	Punta conica	R
N13	16.00	Punta conica	R

Le caratteristiche tecniche del sistema di prova impiegato sono:



- Sistema di battitura tipo Pilcon (maglio + sistema di guida) peso 120,5 Kg;
- Punta conica di diametro 51 mm e angolo di apertura pari a 60°;
- Aste di prolunga filettate diam. 51 mm spessore 8 mm e peso al metro 8 Kg.

Per l'esecuzione della prova nei terreni incoerenti a granulometria fine o debolmente coesivi si utilizza il campionatore standard (detto Raymond dalla società che lo ha introdotto per prima). Si tratta di un tubo carotiere avente diametro esterno di 51 mm, spessore 16 mm e lunghezza complessiva comprendente scarpa e raccordo alle aste di 813 mm. Il campionatore Raymond consta di un tubo diviso longitudinalmente a metà; i due semitubi sono tenuti insieme, durante l'infissione, da una scarpa tagliente avvitata alla base e da un anello in testa. Alla fine della prova si svita la scarpa, il carotiere si apre in due permettendo di estrarre il campione di terreno.

La vasta diffusione della prova SPT è dovuta principalmente alla facilità di realizzazione, potendo essere eseguita in qualunque tipo di terreno direttamente durante il sondaggio, senza l'adozione di attrezzature supplementari; il suo uso in tutto il mondo ha portato alla produzione di una abbondante bibliografia che rende agevole l'interpretazione dei risultati ottenuti.

4.1. Correlazioni

Vi sono numerose correlazioni tra la resistenza alla penetrazione (NSPT) e i parametri geotecnici dei terreni sia granulari che coesivi.

<p>REPUBBLICA ITALIANA</p> 	<p>Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità Dipartimento Regionale Dell'Acqua e dei Rifiuti</p> <p>DIGA GIBBESI</p> <p>INDAGINI E PROVE DI LABORATORIO E IN SITU</p> <p>INDAGINI GEOTECNICHE IN SITO</p>	<p>REGIONE SICILIANA</p> 
<p>II122F F-GEO - RT-001-00</p>	<p>RELAZIONE SULLE ATTIVITÀ IN SITO</p>	<p>Pag. 11 di 17</p>

4.1.1. Terreni granulari

Le correlazioni ritenute più attendibili tra la resistenza alla penetrazione (NSPT) ed alcuni parametri geotec-nici sono le seguenti:

Correlazione di Gibbs-Holtz

Permette di determinare la densità relativa dei terreni granulari mediante la relazione tra la resistenza alla penetrazione e la pressione verticale efficace.

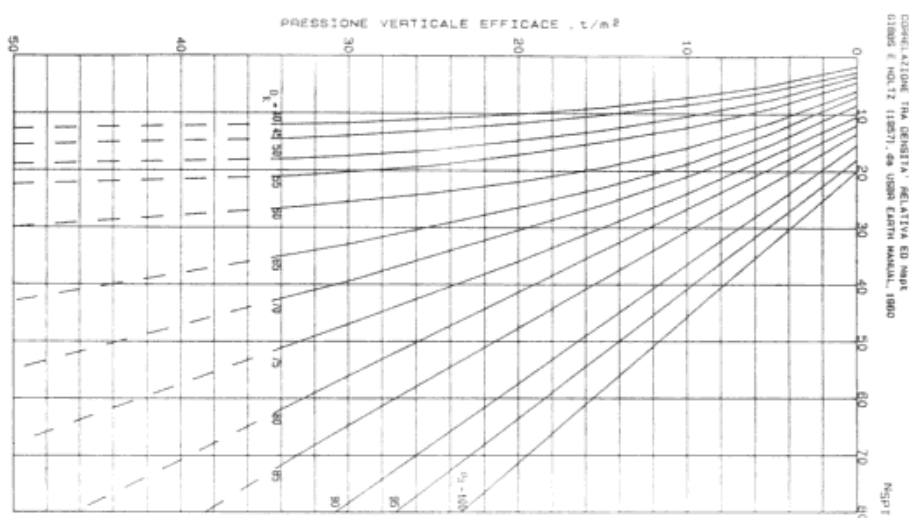


Fig. 5 – Correlazione di Gibbs-Holtz

Correlazione di De Mello

Permette di ricavare l'angolo di attrito in funzione dello sforzo verticale efficace.

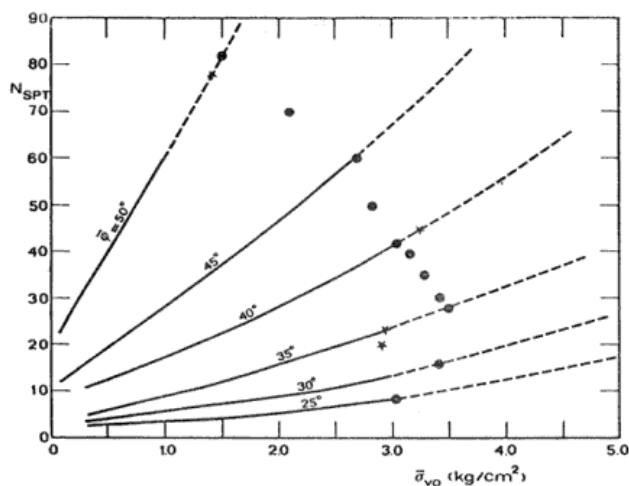




Fig. 6 – Correlazione di De Mello

REPUBBLICA ITALIANA 	Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità Dipartimento Regionale Dell'Acqua e dei Rifiuti DIGA GIBBESI INDAGINI E PROVE DI LABORATORIO E IN SITU INDAGINI GEOTECNICHE IN SITO	REGIONE SICILIANA 
II122F F-GEO - RT-001-00	RELAZIONE SULLE ATTIVITÀ IN SITO	Pag. 12 di 17

Correlazioni di Schmertmann

Pongono in relazione l'angolo di attrito efficace con la densità relativa in funzione di differenti granulometrie, utilizzando sia i valori della densità relativa D_r elaborati con il metodo di Gibbs-Hotz che con il metodo di Terzaghi-Pech-Skempon.

$$\Phi = 28 + 0.14 \times D_r$$

$$\Phi = 31.5 + 0.115 \times D_r$$

$$\Phi = 34.5 + 0.10 \times D_r$$



$$\Phi = 38 + 0.08 \times D_r$$

4.1.2. Terreni coesivi

È di largo uso la correlazione di Terzaghi e Peck tra la resistenza alla penetrazione NSPT, la consistenza e la resistenza non drenata C_u .

La relazione tra NSPT e C_u tuttavia si considera accettabile solo per argille sensitive, ossia per quelle argille per cui la sensitività $A = C_{ui} / C_{ur}$ (rapporto tra la coesione non drenata del campione indisturbato e coesione non drenata del campione rimaneggiato) varia da 4 a 8.

Negli altri casi si considera inattendibile la valutazione dei cedimenti dei terreni coesivi basati sul valore della resistenza dinamica NSPT.

REPUBBLICA ITALIANA 	Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità Dipartimento Regionale Dell'Acqua e dei Rifiuti DIGA GIBBESI INDAGINI E PROVE DI LABORATORIO E IN SITU INDAGINI GEOTECNICHE IN SITO	REGIONE SICILIANA 
II122F F-GEO - RT-001-00	RELAZIONE SULLE ATTIVITÀ IN SITO	Pag. 13 di 17



5. INSTALLAZIONI IN FORO

5.1. Condizionamento dei fori di sondaggio per le prove Down-Hole (DH)

Allo scopo di poter effettuare la prova geofisica down-hole, al termine della perforazione dei sondaggi N4, N10, N13, N19, N24, N25 è stata installata, entro i fori, una colonna di tubazione in PVC “pesante” con diametro esterno pari a 3”. Si tratta di tubi in elementi da 3 m filettati per essere avvitati tra loro.

Una volta inserita la colonna di tubi in PVC sino a fondo foro si è provveduto alla cementazione tramite una miscela cementizia composta da acqua, cemento e bentonite in rapporto di peso 100:30:5 rispettivamente. La cementazione è avvenuta dal basso verso l'alto. Alla fine dell'iniezione si è provveduto a rimuovere i rivestimenti metallici provvisori e ad eseguire eventuali rabbocchi di boiacche.

Nel tratto terminale della tubazione è stato collocato un pozzetto di protezione in calcestruzzo prefabbricato di dimensioni 40x40x40 cm con chiusino carrabile in classe D400 per il transito dei mezzi pesanti.

 REPUBBLICA ITALIANA	Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità Dipartimento Regionale Dell'Acqua e dei Rifiuti DIGA GIBBESI INDAGINI E PROVE DI LABORATORIO E IN SITU INDAGINI GEOTECNICHE IN SITO	REGIONE SICILIANA 
II122F F-GEO - RT-001-00	RELAZIONE SULLE ATTIVITÀ IN SITO	Pag. 14 di 17

6. PROVA DOWN-HOLE

Il rilievo sismico in foro con tecnica down-hole rappresenta l'indagine più pratica ed efficace per la caratterizzazione, dal punto di vista sismico, di una qualsiasi successione litostratigrafica.

L'acquisizione dei dati avviene misurando i tempi di propagazione nel terreno delle onde sismiche tra una sorgente d'energia, situata alla superficie di questo e, uno o più sensori (geofoni), posizionati a profondità diverse in un foro verticale praticato nel terreno. Generalmente si fa uso del foro residuo di un'indagine geognostica diretta, idoneamente attrezzato per l'alloggiamento e lo stazionamento alle quote di misura del sensore sismico (geofono triassiale).

Nel presente lavoro si è provveduto al rivestimento del foro mediante l'inserimento di un tubo in PVC sigillato nelle giunture, la cui perfetta adesione al terreno è stata assicurata attraverso l'iniezione nella relativa intercapedine, di boiacche cementizie, effettuata dal basso verso l'alto ed a pressione controllata.

L'acquisizione del segnale sismico, avviene attraverso dei registratori sismici (geofoni) collocati a varie profondità, che rilevano e registrano i segnali prodotti dalle perturbazioni indotte nel terreno e provocate dalle energizzazioni da superficie.

Dall'analisi delle tracce delle oscillazioni (fronti d'onda) del terreno, registrate in modo e scala opportuna (sismogrammi), è possibile leggere, per ciascun geofono, i relativi tempi d'arrivo.



Il modo con cui solitamente queste informazioni sono rappresentate è una funzione grafica chiamata dromocrona, che si ottiene riportando su un diagramma i tempi d'arrivo osservati da ciascun sensore in funzione della profondità all'interno del foro.

Frequentemente, nella sismica di rifrazione, le dromocrone sono assimilabili a composizioni di segmenti con inclinazione variabile rispetto all'asse orizzontale del grafico di riferimento.

Il presupposto teorico su cui il metodo si basa è l'assunto che le onde elastiche di volume, generate da una sorgente posta sulla superficie libera della terra, si propagano secondo le leggi dell'ottica geometrica.

Il criterio d'analisi più semplice delle dromocrone che si possono ricostruire dai dati provenienti da questo tipo d'indagine, consiste nell'ipotizzare che nel sottosuolo, a causa del progressivo aumento del carico litostatico, si abbia un costante incremento della densità e quindi un conseguente progressivo aumento della velocità di propagazione delle onde elastiche.

La struttura del sottosuolo, in quest'ipotesi, viene approssimata ad un modello a strati omogenei e isotropi separati da superfici di discontinuità piane, fra loro parallele, condizione che in pratica può considerarsi sufficientemente verificata eseguendo i tiri nelle immediate vicinanze del foro d'indagine.

 REPUBBLICA ITALIANA	Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità Dipartimento Regionale Dell'Acqua e dei Rifiuti DIGA GIBBESI INDAGINI E PROVE DI LABORATORIO E IN SITU INDAGINI GEOTECNICHE IN SITO	REGIONE SICILIANA 
II122F F-GEO - RT-001-00	RELAZIONE SULLE ATTIVITÀ IN SITO	Pag. 15 di 17

6.1. Procedure di acquisizione

La prospezione programmata per l'indagine è consistita nell'esecuzione di n. 6 prove Down-Hole.

I rilievi sono stati effettuati con i parametri di "lay-out" indicati nella seguente tabella:

Tabella 6-1 – Parametri della prova DH

Sondaggio	Id. Prova	Δe (m)	OF (m)	PS (m)	NM	Prof. Max (m)
N4	N4-DH	2,00	1,00	1,00	40	40,00
N10	N10-DH	2,00	1,00	1,00	30	30,00
N13	N13-DH	2,00	1,00	1,00	30	30,00
N19	N19-DH	2,00	1,00	1,00	30	30,00
N24	N24-DH	2,00	1,00	1,00	30	30,00
N25	N25-DH	2,00	1,00	1,00	30	30,00

Legenda della tabella:

Δe = distanza del punto di energizzazione dal foro

OF = profondità dal piano campagna del 1° geofono



PS = passo di spostamento del geofono

NM = numero di posizioni geofoniche del test

Prof. max = profondità massima del test

Le registrazioni, alle varie profondità, sono state effettuate secondo una procedura articolata in due fasi e di seguito descritta:

- nella prima fase sono stati acquisiti i sismogrammi per la lettura delle onde di compressione (onde P), disponendo la terna geofonica con l'opportuno offset dal piano campagna in relazione alla profondità del foro ed energizzando il terreno a compressione con una massa battente;
- nella seconda fase sono stati acquisiti i sismogrammi per la lettura delle onde di taglio (onde S), disponendo la terna geofonica alle profondità corrispondenti a quelle prima utilizzate per le onde P ed energizzando il terreno

<p>REPUBBLICA ITALIANA</p> 	<p>Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità Dipartimento Regionale Dell'Acqua e dei Rifiuti</p> <p>DIGA GIBBESI</p> <p>INDAGINI E PROVE DI LABORATORIO E IN SITU</p> <p>INDAGINI GEOTECNICHE IN SITO</p>	<p>REGIONE SICILIANA</p> 
<p>II122F F-GEO - RT-001-00</p>	<p>RELAZIONE SULLE ATTIVITÀ IN SITO</p>	<p>Pag. 16 di 17</p>

con due battute tangenziali (con impulsi diametralmente opposti) per ogni posizione ricoperta.

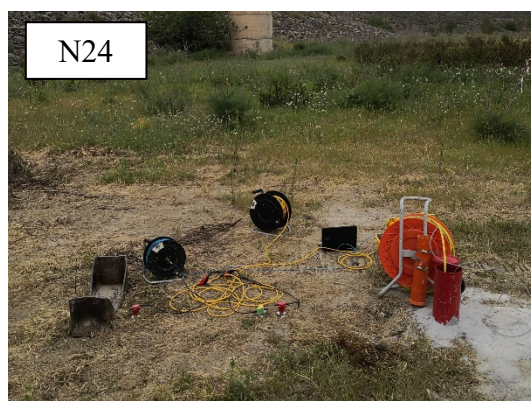
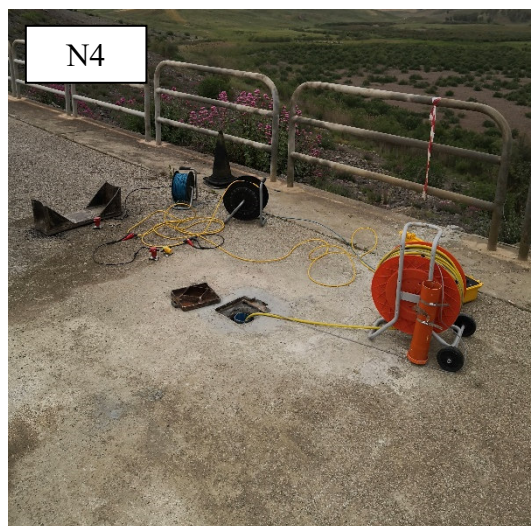




Fig. 7 – Panoramica delle postazioni di acquisizione Down-Hole

 REPUBBLICA ITALIANA	Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità Dipartimento Regionale Dell'Acqua e dei Rifiuti DIGA GIBBESI INDAGINI E PROVE DI LABORATORIO E IN SITU INDAGINI GEOTECNICHE IN SITO	REGIONE SICILIANA 
II122F F-GEO - RT-001-00	RELAZIONE SULLE ATTIVITÀ IN SITO	Pag. 17 di 17

6.2. Strumentazione

La registrazione degli impulsi elastici è stata eseguita mediante un registratore sismico digitale, di tipo incrementale, MAE modello Sysmatrack 24 bit, 24 canali avente le seguenti caratteristiche tecniche:

- capacità di campionamento dei segnali tra 0.002 e 0.00005 sec;
- sistema di comunicazione e di trasmissione del “tempo zero” (time break)
- filtri High Pass e Band Reject
- “Automatic Gain Control”
- convertitore A/D a 24 bit

Per la rilevazione delle onde di compressione e delle onde di taglio si è usata una terna di geofoni OYO da 10 Hz assemblata a tenuta stagna con gli assi orientati secondo le tre direzioni dello spazio, al fine di permettere la registrazione delle tre componenti del segnale sismico.

L'ancoraggio alle pareti del foro alle varie profondità è stato ottenuto mediante pistoncini pneumatici, solidali con l'involucro esterno del sensore, il cui azionamento avviene in superficie mediante valvole e deviatori pneumatici.



L'energizzazione occorrente per l'acquisizione degli impulsi delle onde di compressione (fasi P), è stata effettuata mediante un sistema a massa battente munito di geofono starter con trasmissione della sollecitazione di trigger al registratore sismico.

L'energizzazione occorrente per l'acquisizione degli impulsi delle onde di taglio (fasi S), invece, è stata effettuata mediante un sistema di energizzazione tangenziale a massa battente con capacità di inversione del verso della sollecitazione, per consentire l'applicazione del metodo d'inversione di fase necessario a garantire il certo riconoscimento dei primi arrivi delle onde trasversali.

6.3. Elaborazione dei dati acquisiti

L'elaborazione dei dati acquisiti con tecnica differenziale ha consentito di poter effettuare il calcolo delle velocità intervallo e dei moduli elastici intervallo.

I risultati conseguiti sono contenuti nell'elaborato “Prove di caratterizzazione sismica”.

 REPUBBLICA ITALIANA	Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità Dipartimento Regionale Dell'Acqua e dei Rifiuti DIGA GIBBESI INDAGINI E PROVE DI LABORATORIO E IN SITU INDAGINI GEOTECNICHE IN SITO	REGIONE SICILIANA 
II122F F-GEO - RT-001-00	RELAZIONE SULLE ATTIVITÀ IN SITO	Pag. 18 di 17

7. INDAGINE DI SISMICA ATTIVA MASW

Il metodo MASW, acronimo di Multichannel Analysis of Surface Waves, è una tecnica di indagine non invasiva basata sulla misura delle onde superficiali in corrispondenza di diversi sensori (geofoni) posti sulla superficie del suolo. Il contributo predominante alle onde superficiali è dato dalle onde di Rayleigh, che si trasmettono nel sottosuolo con una velocità correlata alla rigidità della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde.

In un mezzo stratificato, le onde di Rayleigh sono dispersive, cioè onde con diverse lunghezze d'onda, che si propagano con diverse velocità di fase e velocità di gruppo. Detto in maniera equivalente la velocità di fase (o di gruppo) apparente delle onde di Rayleigh dipende dalla frequenza di propagazione. Sono cioè onde la cui velocità dipende dalla propria frequenza.

7.1. Procedure di acquisizione



La configurazione spaziale in sito è equivalente ad un dispositivo geometrico punto di scoppio-geofoni "base distante in linea". In particolare, sono stati utilizzati i seguenti set-up:

- geofoni con interspazio (Gx) come indicato nella tabella sottostante;
- energizzazioni ad offset (Sx) come indicato nella tabella sottostante;
- passo di campionamento pari a 1000 Hz;
- lunghezza delle tracce sismiche pari a 2.0 sec.

I rilievi sono stati eseguiti seguendo i parametri di "lay-out" indicati nella seguente tabella:

Tabella 7-1 – Parametri di acquisizione delle prove MASW

Id. prova	Lunghezza stendimento (m)	Geofoni uti- lizzati (n°)	Distanza inter- geofonica (m)	Offset (m)
MASW 1	46	24	2	4.0
MASW 2	46	24	2	2.0
MASW 3	46	24	2	4.0

<p>REPUBBLICA ITALIANA</p> 	<p>Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità Dipartimento Regionale Dell'Acqua e dei Rifiuti</p> <p>DIGA GIBBESI</p> <p>INDAGINI E PROVE DI LABORATORIO E IN SITU</p> <p>INDAGINI GEOTECNICHE IN SITO</p>	<p>REGIONE SICILIANA</p> 
<p>II122F F-GEO - RT-001-00</p>	<p>RELAZIONE SULLE ATTIVITÀ IN SITO</p>	<p>Pag. 19 di 17</p>

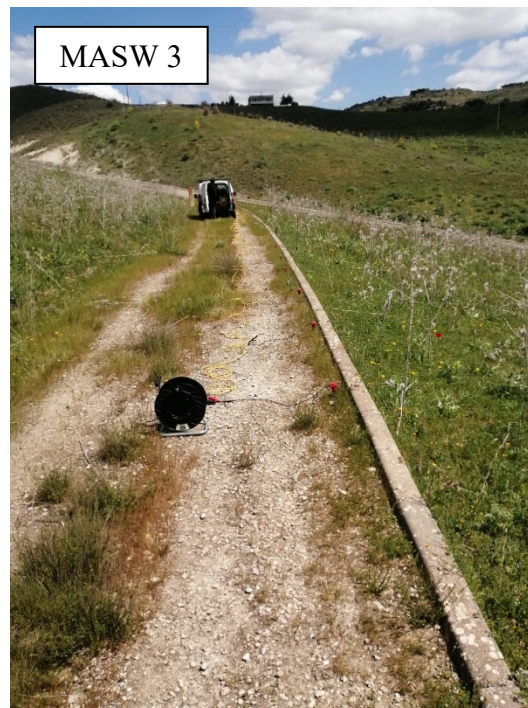




Fig. 8: Panoramica delle postazioni di acquisizione MASW

 REPUBBLICA ITALIANA	Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità Dipartimento Regionale Dell'Acqua e dei Rifiuti DIGA GIBBESI INDAGINI E PROVE DI LABORATORIO E IN SITU INDAGINI GEOTECNICHE IN SITO	REGIONE SICILIANA 
II122F F-GEO - RT-001-00	RELAZIONE SULLE ATTIVITÀ IN SITO	Pag. 20 di 17

7.2. Strumentazione impiegata

La registrazione degli impulsi elastici è stata eseguita mediante un registratore sismico digitale, di tipo incrementale, MAE modello Sysmatrack 24 bit, 24 canali (matricola M043762) avente le seguenti caratteristiche tecniche:

- capacità di campionamento dei segnali tra 0.002 e 0.00005 sec;
- sistema di comunicazione e di trasmissione del “tempo zero” (time break);
- filtri High Pass e Band Reject;
- “Automatic Gain Control”;
- convertitore A/D a 24 bit.

Per la rilevazione delle onde di taglio sono stati utilizzati geofoni con periodo proprio di 4.5 Hz. L’impulso iniziale è stato generato mediante l’impiego di una massa battente del peso di 8 kg e geofono starter con trasmissione della sollecitazione di trigger al registratore sismico.



7.3. Elaborazione dei dati acquisiti

I segnali sismici, acquisiti in formato .sg2, sono stati successivamente elaborati con il software GEOPSY Vers. 2.6.3.

Dall’analisi delle velocità delle onde superficiali, attraverso dei rapporti di calcolo, sono stati estrapolati i profili delle velocità sismiche delle onde di taglio.

Infine, per poter individuare la categoria del suolo di fondazione necessaria per definire l’azione sismica di progetto mediante l’approccio semplificato offerto dalle Norme Tecniche per le Costruzioni in vigore (NTC18 D.M. 17/01/2018), è stato determinato il parametro $V_{s,eq}$.

I risultati conseguiti sono contenuti nell’elaborato “Prove di caratterizzazione sismica”.

 REPUBBLICA ITALIANA	Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità Dipartimento Regionale Dell'Acqua e dei Rifiuti DIGA GIBBESI INDAGINI E PROVE DI LABORATORIO E IN SITU INDAGINI GEOTECNICHE IN SITO	 REGIONE SICILIANA
II122F F-GEO - RT-001-00	RELAZIONE SULLE ATTIVITÀ IN SITO	Pag. 21 di 17

8. TOMOGRAFIA SISMICA

La tomografia sismica per raggi diretti permette l'individuazione di anomalie nella velocità di propagazione delle onde sismiche con un potere risolutivo nettamente superiore agli altri metodi sismici classici.

Con l'applicazione di questa tecnica si ha la possibilità di ricostruire, con elevato grado di precisione, le anomalie della distribuzione della velocità delle onde sismiche causate da strutture geologiche, anche particolarmente complesse, che frequentemente non sono risolvibili con le indagini classiche.

In generale, per le procedure di realizzazione di immagini tomografiche è necessario utilizzare un numero di sorgenti di energizzazione e di punti di ricezione (geofoni) sufficienti a garantire una distribuzione dei raggi sismici (definiti come le rette ideali che uniscono sorgente e ricevitore) omogenea e con elevata densità.



Attraverso l'esatta individuazione dei tempi di percorso delle onde sismiche ed il conseguente calcolo della velocità di propagazione per ogni singolo raggio sismico è, pertanto, possibile ricostruire qualsiasi distribuzione delle velocità in un'area predefinita. A questo scopo è necessario eseguire accurate registrazioni degli impulsi sismici generati, per individuare sul sismogramma l'istante del primo arrivo delle onde dirette. Successivamente si utilizza una suddivisione dell'area di studio in celle elementari, calcolando per ciascuna di queste un valore di velocità congruente con il tempo di tragitto medio relativo ai percorsi dei raggi sismici che le attraversano. La presentazione delle elaborazioni eseguite consente di ottenere come risultato una mappa della distribuzione delle velocità sismiche, in una sezione piana, compresa tra le sorgenti ed i geofoni.

8.1. Procedure di acquisizione

Il rilievo sismico è stato eseguito a mezza costa nel versante, seguendo i parametri di "lay-out" indicati nella seguente tabella:

Tabella 8-1 – Parametri di acquisizione delle tomografie sismiche

Id. prova	Lunghezza stendimento (m)	Geofoni utilizzati (n°)	Punti di scoppio (n°)
SIS 1	69.00	24	5
SIS 2	69.00	24	5
SIS 3	69.00	24	5
SIS 4	69.00	24	5
SIS 5	69.00	24	5

<p>REPUBBLICA ITALIANA</p> 	<p>Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità Dipartimento Regionale Dell'Acqua e dei Rifiuti</p> <p>DIGA GIBBESI</p> <p>INDAGINI E PROVE DI LABORATORIO E IN SITU</p> <p>INDAGINI GEOTECNICHE IN SITO</p>	<p>REGIONE SICILIANA</p> 
<p>II122F F-GEO - RT-001-00</p>	<p>RELAZIONE SULLE ATTIVITÀ IN SITO</p>	<p>Pag. 22 di 17</p>

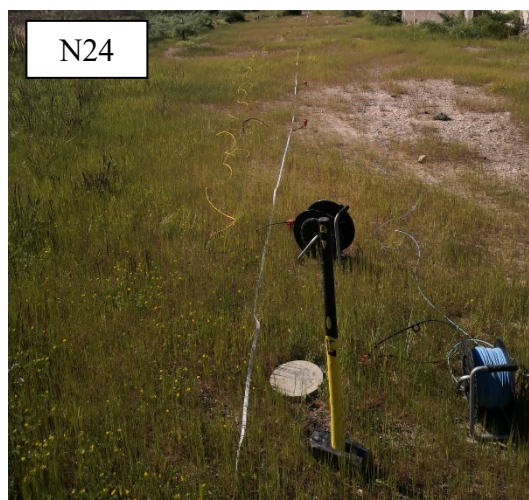
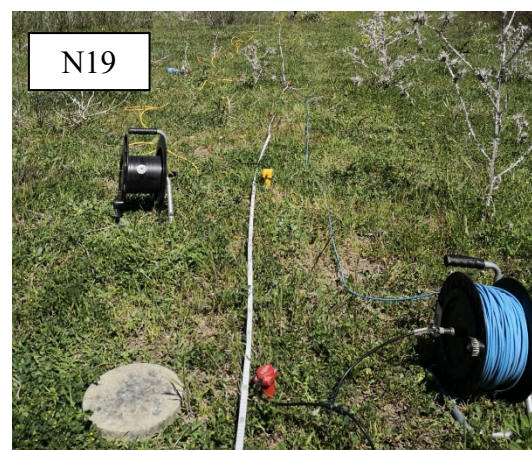
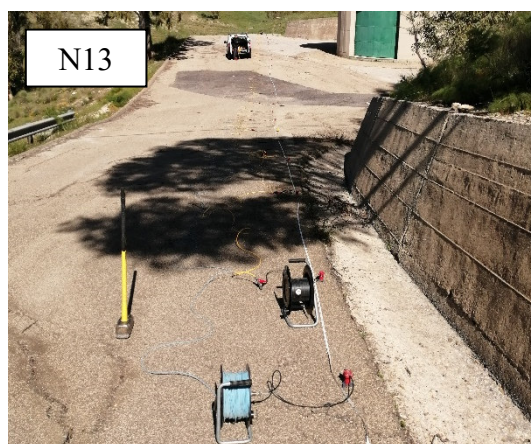
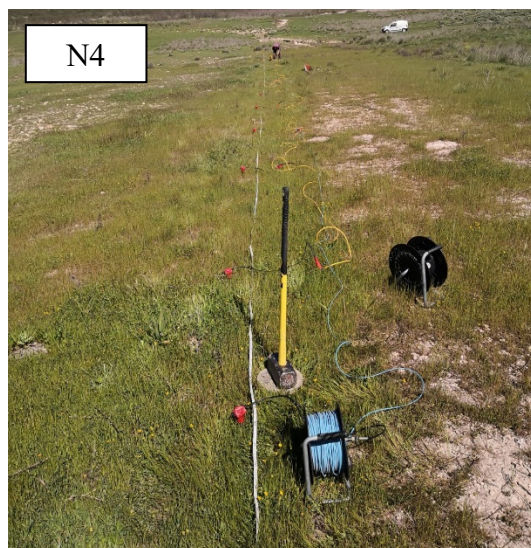




Fig. 9: Posizioni di acquisizione tomografie sismiche

 REPUBBLICA ITALIANA	Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità Dipartimento Regionale Dell'Acqua e dei Rifiuti DIGA GIBBESI INDAGINI E PROVE DI LABORATORIO E IN SITU INDAGINI GEOTECNICHE IN SITO	REGIONE SICILIANA 
II122F F-GEO - RT-001-00	RELAZIONE SULLE ATTIVITÀ IN SITO	Pag. 23 di 17

Si fa notare che per una migliore acquisizione si è proceduto a variare ripetutamente il posizionamento del punto di scoppio pur mantenendolo (ovviamente) entro l'allineamento geofonico.

8.2. Strumentazione impiegata

La registrazione degli impulsi elastici è stata eseguita mediante un registratore sismico digitale, di tipo incrementale, MAE modello Sysmatrack 24 bit, 24 canali (matricola M043762) avente le seguenti caratteristiche tecniche:

- capacità di campionamento dei segnali tra 0.002 e 0.00005 sec;
- sistema di comunicazione e di trasmissione del “tempo zero” (time break)
- filtri High Pass e Band Reject
- “Automatic Gain Control”
- convertitore A/D a 24 bit

Per la rilevazione delle onde di taglio sono stati utilizzati geofoni con periodo proprio di 4.5 Hz. L'impulso iniziale è stato generato mediante l'impiego di una massa battente del peso di 8 kg e geofono starter con trasmissione della sollecitazione di trigger al registratore sismico.



8.3. Elaborazione dati acquisiti

Sulla base delle registrazioni di campagna e dopo aver eseguito la distinzione tra impulsi rifratti ed impulsi diretti, sono stati individuati gli arrivi dei primi impulsi delle onde sismiche (P), sulla base dell'analisi delle loro ampiezze.

Ciò allo scopo di poter procedere alla ricostruzione delle distribuzioni delle velocità, relativamente ai terreni presenti nel sottosuolo, in corrispondenza dell'allineamento delle stazioni ricevitori punti di scoppio, che si origina dalle velocità apparenti di propagazione nel mezzo attraversato per ogni singolo raggio sismico, ricavate dai tempi d'arrivo ad ogni geofono dal corrispondente punto di energizzazione.

Nella prima fase di elaborazione, vengono individuati i tempi dei primi arrivi delle onde longitudinali e ricostruite le relative dromocrone, da cui è divenne possibile desumere i sismostrati presenti nel sito.

Nella seconda fase, la geometria del sottosuolo viene definita secondo un profilo 2D, producendo una rappresentazione della distribuzione dell'andamento delle velocità sismiche nel sottosuolo attraverso una modellazione della propagazione dei raggi sismici associata ai primi arrivi ottenuto da un compendio di profili mono-dimensionali (1D) di tipo “profondità-velocità” utilizzando il metodo d'inversione

 REPUBBLICA ITALIANA	Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità Dipartimento Regionale Dell'Acqua e dei Rifiuti DIGA GIBBESI INDAGINI E PROVE DI LABORATORIO E IN SITU INDAGINI GEOTECNICHE IN SITO	REGIONE SICILIANA 
II122F F-GEO - RT-001-00	RELAZIONE SULLE ATTIVITÀ IN SITO	Pag. 24 di 17

(pseudo 2d) denominato “Delta-t-V method” (Gebrande e Miller, 1985), che fornisce una stima iniziale tra i primi arrivi di campagna e quelli sintetici, anche in caso di inversioni di velocità locali. Questa tecnica è basata sulla ricostruzione di velocità per ogni CMP (common midpoint) che permette di ottenere un modello del campo di velocità indagato a partire dai dati geometrici del lay – out (topografia del p.c., posizioni dei punti di scoppio e di ricezione e primi arrivi).

La procedura sopradescritta è stata efficacemente implementata con il software di inversione di dati sismici Rayfract ver. 4.1 prodotto da Intelligence Resources Inc. che consente, inoltre, il perfezionamento del modello “Delta-t-V method” ottenuto, attraverso la successiva fase di vera e propria inversione tomografica 2D WET (Wavepath Eikonal Traveltime - Schuster, 1993; Watanable, 1999), nota anche come tomografia del Volume di Fresnel. Infatti, mentre il metodo tomografico convenzionale è limitato alla modellazione del percorso di un solo raggio sismico per ogni primo arrivo, la tomografia WET modella i percorsi multipli della propagazione di volume del segnale che contribuiscono ad un primo arrivo.

Utilizzando questa procedura, pertanto, sono state ottenute le sezioni sismiche tomografiche che, insieme ai tabulati dei tempi di arrivo registrati per i vari gruppi punti di scoppio-geofoni ed alla ricostruzione della distribuzione delle velocità tomografiche ricostruite, sono contenuti nell’elaborato “Prove di caratterizzazione sismica”.

Catenanuova, maggio 2021

Il Direttore Tecnico
 Dott. Geol. Sandro La Spina