

# - COMUNE DI MASSA -

Indagini geofisiche di sismica a rifrazione, con onde P ed SH e relative interpretazioni sismostratigrafiche, nell'ambito del progetto "**Realizzazione di studi di Microzonazione sismica di Primo Livello sul territorio comunale, propedeutici e parte integrante del Regolamento Urbanistico Comunale, ai sensi del D.P.G.R. 53/R del 25 ottobre 2011**"

Committente: **Amministrazione Comunale di Massa**

## **DITTA INCARICATA:**

*Geognostica Apuana Snc*  
*Via Tinelli n. 25/A*  
*54100 Massa*  
*e-mail:geognostica.apuana@gmail.com*



*Relazione generale e Relazioni tecniche  
stendimenti **ST9, ST10, ST11, ST12 e ST13***

## **INDICE**

|  |         |
|--|---------|
| <b>PREMESSA</b>  | pag. 2  |
| <b>RELAZIONE GENERALE</b>  | pag. 3  |
| 1 Contesto geologico   | pag. 3  |
| 2 Strumentazione utilizzata  | pag. 8  |
| 2.1 Sistema di ricezione per le onde P   | pag. 8  |
| 2.2 Sistema di ricezione per le onde SH  | pag. 8  |
| 2.3 Programma di elaborazione e di interpretazione dei dati sismici a rifrazione | pag. 8  |
| 2.4 Sistema sorgente per l'immissione nel terreno delle vibrazioni indotte       | pag. 9  |
| 2.4.1 Onde di tipo P   | pag. 9  |
| 2.4.2 Onde di tipo SH  | pag. 9  |
| 3 Risultati delle indagini   | pag. 10 |

## PREMESSA

Per incarico dell'Amministrazione Comunale di Massa, sono state eseguite indagini geofisiche di sismica a rifrazione, con onde P ed SH e relative interpretazioni sismostratigrafiche, nell'ambito della "**Realizzazione di studi di Microzonazione sismica di Primo Livello sul territorio comunale, propedeutici e parte integrante del Regolamento Urbanistico Comunale, ai sensi del D.P.G.R. 53/R del 25 ottobre 2011**" (D. D. n. 3637 del 01/10/2012).

Le indagini sono state realizzate sulla base di quanto prescritto dalle "**Istruzioni Tecniche**" predisposte dal Settore Coordinamento Regionale Prevenzione Sismica della REGIONE TOSCANA e dagli "**Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica**" predisposte dal Dipartimento di Protezione Civile.

Nel territorio comunale, così come indicato dai docenti dell'Università di Siena, ente incaricato della redazione dello Studio di Microzonazione Sismica di Primo Livello, sono stati realizzati cinque profili sismici, localizzati come di seguito specificato:

- stendimento **ST9**, ubicato nel centro cittadino di Massa, lungo Via Ponticello Sud;
- stendimento **ST10**, ubicato nel centro cittadino di Massa, lungo Via Ponticello Nord;
- stendimento **ST11**, ubicato in località Santa Lucia, lungo Via del Frigido;
- stendimento **ST12**, ubicato a Marina di Massa, lungo Via Lodolina;
- stendimento **ST13**, ubicato a Marina di Massa, lungo Via Lodolina.

Gli stendimenti ST9 e ST10 sono stati posizionati in modo da ricreare un unico profilo sismostratigrafico che attraversa il centro cittadino.

Anche gli stendimenti ST12 e ST13, essendo stati realizzati in prosecuzione uno dell'altro, consentiranno di ricavare un'unica sezione sismostratigrafica.

Le quote dei geofoni e dei punti di energizzazione sono state rilevate con uno strumento topografico, che ha consentito di ricavare i profili morfologici degli stendimenti e di posizionarli correttamente su ingrandimenti della Carta Aerofotogrammetrica in scala 1:2.000.

# RELAZIONE GENERALE

## 1 Contesto geologico nelle varie zone indagate

Le indicazioni di carattere geologico sono state ricavate dalle cartografie del Piano Strutturale di Massa e dalla cartografia geologica realizzata nell'ambito del Progetto CARG della Regione Toscana.

Nelle tre aree indagate il substrato sismico non ha le stesse caratteristiche litotecniche; pertanto, per una sua migliore definizione, saranno descritte separatamente le aree sulle quali sono stati eseguiti gli stendimenti sismici.

### **Località: MASSA CENTRO**

#### **Via Ponticello Sud**

In questa zona l'obiettivo principale era quello di definire i rapporti geometrici tra i depositi di conoide pedemontana ed il sottostante substrato sismico, che in quest'area dovrebbe essere costituito dalla formazione dell'Arenaria "Macigno".

L'indagine eseguita ha consentito di delineare l'andamento del substrato roccioso e di valutare lo spessore della coltre alluvionale parametrizzando dal punto di vista sismico ed elastico tutti i terreni attraversati.

In quest'area, dall'alto verso il basso, si riconoscono i seguenti litotipi:

#### DEPOSITI OLOCENICI

##### **Depositi di conoide pedemontana (dc)**

Depositi eterogenei costituiti prevalentemente da ghiaie e sabbie nelle zone apicali e limi argillo-sabbiosi nelle zone distali. Presenza di banchi di argilla limosa in spessori da metrici a decametrici (bacini di sedimentazione delle aree pedecollinari). Elevata variabilità stratigrafica sia orizzontale che verticale.

DOMINIO TOSCANO (Falda Toscana)

##### **Macigno**

Arenarie quarzoso-feldspatiche-micacee gradate, in strati di potenza variabile, con livelli più sottili di argilliti siltose (Oligocene superiore – Miocene inferiore).

## **Località: MASSA CENTRO**

### **Via Ponticello Nord**

Anche in questa zona l'obiettivo principale era quello di definire i rapporti geometrici tra i depositi di conoide pedemontana ed il sottostante substrato sismico, che in quest'area dovrebbe essere costituito dai Calcari e marne a Rhaetavicula contorta.

L'indagine eseguita ha consentito di delineare l'andamento del substrato roccioso e di valutare lo spessore della coltre alluvionale parametrizzando dal punto di vista sismico ed elastico tutti i terreni attraversati.

In quest'area, dall'alto verso il basso, si riconoscono i seguenti litotipi:

### **Depositi di conoide pedemontana (dc)**

Depositi eterogenei costituiti prevalentemente da ghiaie e sabbie nelle zone apicali e limi argillo-sabbiosi nelle zone distali. Presenza di banchi di argilla limosa in spessori da metrici a decametrici (bacini di sedimentazione delle aree pedecollinari. Elevata variabilità stratigrafica sia orizzontale che verticale.

DOMINIO TOSCANO (Falda Toscana)

### **Calcari e marne a Rhaetavicula contorta**

Calcari, calcari dolomitici e dolomie scure con sottili intercalazioni di marne. Generalmente nella parte inferiore prevalgono calcari, calcari dolomitici e dolomie grossolanamente stratificati, cui seguono calcilutiti nere alternate con sottili livelli di marne grigio scure a patina d'alterazione giallastra (Retico).

Altro obiettivo delle indagini eseguite nel centro cittadino era quello di verificare l'esistenza di eventuali contrasti di velocità nel substrato sismico, in modo da individuare il contatto tettonico tra l'arenaria "Macigno", presente nella parte alta della Successione Toscana, ed i "Calcari e Marne a Rhaetavicula contorta" presenti nella parte basale.

Tale obiettivo, al momento, non sembra essere stato raggiunto, in quanto i due profili sismici non hanno rilevato un significativo contrasto di velocità nei rispettivi substrati.

## Località: SANTA LUCIA

### Via del Frigido

In questa zona l'obiettivo era quello di definire i rapporti geometrici tra i depositi di conoide pedemontana, le alluvioni terrazzate ed il sottostante substrato sismico che in questa zona dovrebbe essere costituito dai termini dell'Unità di Massa.

L'indagine eseguita ha consentito di delineare l'andamento del substrato roccioso e di valutare lo spessore delle alluvioni e dei depositi di conoide parametrizzando dal punto di vista sismico ed elastico tutti i terreni attraversati.

In quest'area, dall'alto verso il basso, si riconoscono i seguenti litotipi:

### DEPOSITI OLOCENICI

#### Depositi di conoide pedemontana (dc)

Depositi eterogenei costituiti prevalentemente da ghiaie e sabbie nelle zone apicali e limi argillo-sabbiosi nelle zone distali. Presenza di banchi di argilla limosa in spessori da metrici a decametrici (bacini di sedimentazione delle aree pedecollinari). Elevata variabilità stratigrafica sia orizzontale che verticale.

#### Depositi alluvionali terrazzati di vario ordine (bna)

Depositi sciolti eterometrici di ghiaie e ciottoli in matrice sabbiosa o limo-argillosa e/o depositi sciolti di sabbie, limi e argille.

### DEPOSITI PLEISTOCENICI

#### Depositi alluvionali terrazzati di vario ordine prevalentemente ghiaiosi (bnb)

Depositi sciolti eterometrici di ghiaie e ciottoli in matrice sabbiosa e/o limo-argillosa e/o depositi alluvionali cementati (conglomerati) e reincisi.

### UNITA' DI MASSA (Successione Triassica)

Lungo questo profilo non è stato possibile stabilire con certezza il termine dell'Unità di Massa che costituisce il substrato sismico, pertanto di seguito vengono descritti i litotipi affioranti sui versanti in destra e sinistra idrografica del Fiume Frigido.

#### Filladi sericitiche (SRT – SRTa)

Filladi quarzítico muscovitiche grigie o grigio-verdi con alternanze centimetriche di filladi scure e filladi muscovitiche chiare (SRT). Anageniti: metaconglomerati quarzosi con matrice quarzítico filladica da grigio verde a violacea. Gli elementi sono costituiti in prevalenza da quarzo rosato e quarziti bianche o rosate. Sono talvolta presenti livelli quarzítico filladici violacei (SRTa) (Carnico).

### **Prasiniti (OP)**

Metabasiti ad albite, clorite, epidoto e quarzo, verdi, grigio-verdi e grigie, talvolta alternate a livelli di filladi e metaconglomerati (Ladinico).

### **Marmi a Crinoidi (MNI – MNIa – MNIb)**

Marmi e marmi a muscovite, bianco o grigi, con rari livelli dolomitici e abbondanti resti di crinoidi (MNI). Breccie marmoree: metabreccie ad elementi marmorei, localmente quarzosi, in matrice filladica muscovitico-cloritica (MNIa). Dolomie massive di colore grigio scuro (Anisico Superiore ?- Ladinico).

### **Filladi nere e quarziti (FNE)**

Filladi muscovitiche e muscovitico-quarzitiche grigio-scure, spesso grafitiche, localmente con livelli di metarenarie grigie (Anisico).

### **Metaconglomerato basale (MGC)**

Metaconglomerato a clasti eterometrici per lo più quarzosi, in una matrice cloritico-muscovitica verde o grigio-verde (Trias inferiore).

## **Località: MARINA DI MASSA**

### **Via Lodolina**

In quest'area l'obiettivo era quello di definire i rapporti geometrici tra i depositi alluvionali terrazzati, i depositi sabbiosi marini e i depositi fini alluvionali.

L'indagine eseguita ha consentito di raggiungere tale obiettivo parametrizzando dal punto di vista sismico ed elastico i terreni attraversati.

In quest'area, dall'alto verso il basso, si riconoscono i seguenti litotipi:

### DEPOSITI OLOCENICI

#### **Depositi sabbiosi eolici e di spiaggia (da)**

Sabbie di ambiente litorale, delle dune e dei tomboli costieri. Sabbie medie e fini che localmente possono presentarsi da debolmente limose a limose, con modeste lenti di limo.

#### **Depositi fini alluvionali eterogenei di ambiente focivo e di stagno retrodunale, legati alla dinamica fluviale (dl)**

Limi argillo-sabbiosi e/o argille limose prevalenti, sovrastanti e/o intercalati a depositi ghiaiosi alluvionali o a depositi sabbiosi di origine marina. Presenza di lenti sottili di argilla spesso associata a frazioni sabbiose ricche di sostanza organica (ex zone costiere depresse retrodunali) e di terreni eterogenei di colmata. Elevata variabilità stratigrafica sia orizzontale che verticale.

### DEPOSITI PLEISTOCENICI

#### **Depositi alluvionali terrazzati di vario ordine prevalentemente ghiaiosi (bnb)**

Depositi sciolti eterometrici di ghiaie e ciottoli in matrice sabbiosa e/o limo-argillosa e/o depositi di sabbie, limi e argille.

## 2 Strumentazione utilizzata

Per la presente indagine è stato utilizzato un sismografo GEOMETRICS SMARTSEIS a 24 canali, dotato di un convertitore A/D a 16 bit preceduto da un amplificatore a singola fase che permette un guadagno del segnale fino a 24 dB.

I dati acquisiti sono immagazzinati in una memoria a 32 bit e visualizzati su un display a cristalli liquidi retroilluminato e riprodotti direttamente dalla **stampante termica incorporata**.

I dati possono essere interpretati direttamente in campagna mediante il software di cui dispone il sismografo o, dopo essere stati registrati su dischetto da 3,5", trasferiti su P.C. per le più appropriate elaborazioni.

Il sistema di acquisizione possiede inoltre le seguenti caratteristiche:

- lunghezza di registrazione fino a 1 secondo
- filtri a rigetto di banda (NOTCH) in acquisizione ed in uscita per eliminare le interferenze derivanti da linee di tensione
- filtri taglia basso (LOWCUT) e taglia alto (HIGHCUT) in acquisizione ed in uscita
- inversione di polarità.

### 2.1 Sistema di ricezione per le onde P

Il sistema di ricezione utilizzato è costituito da **24 geofoni verticali**, con frequenza propria di **14hz**, che sono stati infissi nel terreno e posizionati con l'asse di oscillazione ortogonale all'allineamento.

### 2.2 Sistema di ricezione per le onde SH

Il sistema di ricezione utilizzato è costituito da **24 geofoni orizzontali**, con frequenza propria di **10hz**, infissi negli stessi fori lasciati da quelli verticali.

### 2.3 Programma di elaborazione e di interpretazione dei dati di sismica a rifrazione

L'analisi delle tracce sismiche per l'individuazione dei primi arrivi è stata eseguita utilizzando il programma denominato "**SIP**" prodotto dalla Rimrock Geophysics.

L'elaborazione dei primi arrivi è stata invece eseguita utilizzando un programma denominato "**GRM**", realizzato dal Dott. Bruno Vassallo della "CIS Geofisica" di Varese, basato sull'utilizzo del "Generalized Reciprocal Method" di Palmer.

Il Metodo Reciproco Generalizzato consente di delineare rifrattori ondulati, ad ogni profondità e di numero infinito, da dati sismici a rifrazione in linea che consistano di valori di tempi-distanza sia in andata che in ritorno.

I tempi di arrivo a due sensori distinti sono combinati per ottenere la velocità del rifrattore, il calcolo della sezione tempi-profondità ed il fattore di conversione in profondità.

Il fattore di conversione, e quindi il metodo, è indipendente dalla pendenza degli strati per angoli superiori anche ai 20 gradi.

## 2.4 Sistema sorgente per l'immissione nel terreno delle vibrazioni indotte

### 2.4.1 Onde di tipo P

Per la creazione delle onde P di compressione è stato utilizzato il seguente sistema di energizzazione:

- un grave in caduta libera, del peso di 150kg, che cade da un'altezza di circa 1.0m
- durante l'esecuzione dello stendimento ST11, per la rottura del verricello che solleva il grave, è stata necessariamente utilizzata una mazza da 8kg.

### 2.4.2 Onde di tipo SH

Per la creazione di onde di taglio SH, polarizzate orizzontalmente, è stata utilizzata una strumentazione costituita da un pendolo che può colpire lateralmente un parallelepipedo di legno che presenta una lunghezza di 2.3m, una larghezza di 30cm ed uno spessore di 12 centimetri.

La tavola, disposta ortogonalmente all'allineamento sismico e parallelamente alla direzione di vibrazione dei geofoni, è poggiata a terra e gravata con l'asse anteriore di un mezzo fuoristrada che, tramite appositi cunei, è fatto salire su di essa.

Il pendolo, costituito da una massa di ferro dal peso di 30kg, è fissato, mediante supporti, ai due lati della tavola e per l'energizzazione è lasciato cadere da un'altezza pressoché costante.

In questo modo si creano vibrazioni di tipo SH dirette perpendicolarmente all'asse della sorgente e polarizzate sul piano orizzontale con ampiezza massima nella direzione della forza.

Per eliminare dalla registrazione le onde P ed individuare meglio l'istante di primo arrivo dell'onda SH, è necessario produrre alla sorgente due onde di polarità opposta sottraendo battuta destra e battuta sinistra (Metodo Cross-over); per questo le battute eseguite da una parte della tavola sono ripetute successivamente dall'altra parte.

### 3 Risultati delle indagini

#### **Località: MASSA CENTRO**

##### **Via Ponticello Sud (ST9)**

Lo stendimento è stato realizzato lungo Via Ponticello Sud, posizionando i geofoni lungo il lato ovest della viabilità, iniziando da Via Sopramonte fino a giungere in prossimità del tracciato stradale della S.S. N.1 Aurelia.

I geofoni sono stati posizionati con una distanza intergeofonica di 4.5m, per una lunghezza complessiva di circa **110 metri**.

Per evitare l'elevato rumore di fondo presente nell'area urbana è stato necessario acquisire i sismogrammi in orario notturno.

In questo modo è stato possibile ottenere, sia con le onde P che SH, sismogrammi di buona qualità che hanno consentito di individuare senza incertezze i tempi di primo arrivo.

Con l'indagine sismica, utilizzando anche quanto emerso da sondaggi a carotaggio continui eseguiti in prossimità dell'area in esame, è stato possibile discriminare i seguenti cinque sismostrati:

- a) terreno areato, rimaneggiato e di riporto
- b) limo argilloso e sabbioso
- c) alternanze di limi sabbiosi e livelli di ghiaia e ciottoli
- d) ghiaia grossolana in abbondante matrice limo sabbiosa
- e) substrato roccioso.

Di seguito si descriverà la stratigrafia individuata con l'interpretazione delle onde SH, che comunque poco si discosta da quella ottenuta dall'elaborazione delle onde P.

Il primo rifratore, che individua la separazione fra il terreno areato, rimaneggiato e di riporto ed il livello di limo argilloso e sabbioso, presenta una profondità variabile da un minimo di 1.1m, riscontrato all'inizio dello stendimento, ad un massimo di 2.8m rilevati all'altezza della Via Aurelia.

La velocità delle onde P nel primo sismostrato è risultata pari a 420m/sec, mentre quella delle onde SH pari a 190m/sec.

Il secondo rifratore, che individua la superficie di contatto tra il limo argilloso e sabbioso e uno strato costituito da alternanze di limi sabbiosi e livelli di ghiaia e ciottoli, presenta una profondità che tende ad aumentare dalla parte iniziale a quella finale dello stendimento.

Il valore minimo di 3.6m è stato rilevato sotto il geofono n.1, mentre quello massimo, pari a 10.9m, è stato rilevato in corrispondenza del geofono n.24.

Nel secondo sismostrato le onde P hanno una velocità di 750m/sec e le onde SH di 240m/sec, mentre nel terzo, la velocità delle onde P è di 1300m/sec e quella delle onde SH di 320m/sec.

Anche il terzo rifratore, che individua la superficie di separazione tra lo strato costituito da alternanze di limi sabbiosi e livelli di ghiaia e ciottoli e la ghiaia grossolana in abbondante matrice limo sabbiosa, si approfondisce dalla parte iniziale a quella finale del profilo con un valore minimo di 4.8m, sotto il geofono n.1, ed un massimo di 20.9m in corrispondenza del geofono n.24.

Il quarto rifrattore, infine, separa la ghiaia grossolana in abbondante matrice limo sabbiosa dal substrato roccioso; anche in questo caso, è stato rilevato un'evidente approfondimento dalla parte iniziale a quella finale della sezione sismica, con un valore minimo di 9.5m, sotto il geofono n.1, ed un massimo di 40.7m in corrispondenza del geofono n.24.

Nella ghiaia grossolana in abbondante matrice limo sabbiosa le onde P hanno una velocità di 1580m/sec e le onde SH di 530m/sec, mentre nel substrato roccioso, la velocità delle onde P è di 2560m/sec e quella delle onde SH di 1190m/sec.

### **Via Ponticello Nord (ST10)**

Lo stendimento è stato realizzato lungo Via Ponticello Nord, posizionando i geofoni lungo il lato est della viabilità, iniziando da poco a monte del tracciato stradale della S.S. N.1 Aurelia fino a giungere all'incrocio con Via Prado.

I geofoni sono stati posizionati con una distanza intergeofonica di 5.0m, per una lunghezza complessiva di circa **120 metri**.

Anche in questo caso per evitare l'elevato rumore di fondo presente nell'area urbana è stato necessario acquisire i sismogrammi in orario notturno.

In questo modo è stato possibile ottenere, sia con le onde P che SH, sismogrammi di buona qualità che hanno consentito di individuare senza incertezze i tempi di primo arrivo.

Anche in questa sezione sono stati ottenuti, sia con le onde P che SH, sismogrammi di buona qualità che hanno consentito di individuare senza incertezze i tempi di primo arrivo.

Con l'indagine sismica, utilizzando anche quanto emerso da sondaggi a carotaggio continui eseguiti in prossimità dell'area in esame, è stato possibile discriminare i seguenti cinque sismostrati:

- a terreno areato, rimaneggiato e di riporto
- b limo argilloso e sabbioso
- c alternanze di limi sabbiosi e livelli di ghiaia e ciottoli
- d ghiaia grossolana in abbondante matrice limo sabbiosa
- e substrato roccioso.

Nell'interpretazione sia con onde P che SH il primo rifrattore, che individua la separazione fra il terreno areato, rimaneggiato e di riporto con un livello di limo argilloso e sabbioso, presenta una profondità variabile da un minimo di 2.2m ad un massimo di 2.6m; gli spessori maggiori sono stati rilevati all'inizio dello stendimento mentre quelli minori nella parte terminale.

La velocità delle onde P nel primo sismostrato è risultata di 420m/sec, mentre quella delle onde SH di 190m/sec.

Il secondo rifrattore, che individua la superficie di contatto tra il limo argilloso e sabbioso e uno strato costituito da alternanze di limi sabbiosi e livelli di ghiaia e ciottoli, presenta un andamento che tende a risalire nella parte finale dello stendimento, con un valore massimo di 10.2m, sotto il geofono n.1, ed un minimo di 6.0m in corrispondenza del geofono n.24.

Nel secondo sismostrato le onde P hanno una velocità di 670m/sec e le onde SH di 230m/sec, mentre nel terzo, la velocità delle onde P è di 1330m/sec e quella delle onde SH di 320m/sec.

Il terzo rifrattore, che individua la superficie di separazione tra lo strato costituito da alternanze di limi sabbiosi e livelli di ghiaia e ciottoli e la ghiaia grossolana in abbondante matrice limo sabbiosa, come quello precedentemente descritto, tende a risalire dalla parte iniziale a quella finale del profilo con un valore massimo di 19.2m, sotto il geofono n.1, ed un minimo di 10.5m in corrispondenza del geofono n.24.

Il quarto rifrattore, infine, separa la ghiaia grossolana in abbondante matrice limo sabbiosa dal substrato roccioso; anche in questo caso, è stata rilevata un'evidente risalita dalla parte iniziale a quella finale della sezione sismica, con un valore massimo di 38.9m, sotto il geofono n.1, ed un minimo di 16.5m in corrispondenza del geofono n.24.

Nella ghiaia grossolana in abbondante matrice limo sabbiosa le onde P hanno una velocità di 1670m/sec e le onde SH di 610m/sec, mentre nel substrato roccioso, la velocità delle onde P è di 2530m/sec e quella delle onde SH di 1150m/sec.

## Località: SANTA LUCIA

### Via del Frigido (ST11)

Lo stendimento è stato realizzato lungo Via del Frigido, posizionando i geofoni lungo il lato est della viabilità.

I geofoni sono stati posizionati con una distanza intergeofonica di 6.0m, per una lunghezza complessiva dello stendimento di circa **144 metri**.

Rispetto alle altre zone in questa località era presente un elevato rumore di fondo a tutte le ore del giorno, costituito da opifici del settore lapideo e dalla presenza di una derivazione del Fiume Frigido, vicino al termine dello stendimento, che hanno notevolmente "sporcati" i sismogrammi, soprattutto quelli acquisiti con le onde P.

Durante l'acquisizione dei segnali con onde P, inoltre, a causa della rottura del verricello che solleva il grave, è stata utilizzata, per alcuni "colpi", la mazza da 8kg che ha fornito registrazioni meno energetiche che sono state più facilmente influenzate dal rumore di fondo.

Con l'indagine sismica è stato possibile discriminare i seguenti quattro sismostrati:

- a massicciata stradale, terreno areato, rimaneggiato e di riporto
- b ghiaia e ciottoli in matrice sabbiosa o limo-argillosa
- c ghiaia grossolana in abbondante matrice limo sabbiosa, localmente cementata
- d substrato roccioso.

Il primo rifratore, che individua la separazione fra la massicciata stradale, il terreno areato, rimaneggiato e di riporto e la ghiaia in matrice sabbiosa o limo-argillosa, presenta una profondità variabile da un minimo di 1.0m ad un massimo di 1.5m; la velocità delle onde P nel primo sismostrato è risultata di 490m/sec, mentre quella delle onde SH di 240m/sec.

Il secondo rifratore, che individua la superficie di contatto tra la ghiaia e ciottoli in matrice sabbiosa o limo-argillosa e un livello di ghiaia grossolana in abbondante matrice limo sabbiosa, localmente cementata, presenta una profondità del rifratore che varia da un valore minimo di 10.0m, sotto il geofono n.1, ed un massimo di 12.1m in corrispondenza dei geofoni n.21 e n.22. Nel secondo sismostrato le onde P hanno una velocità di 820m/sec e le onde SH di 400m/sec.

Il terzo rifratore, infine, separa la ghiaia grossolana in abbondante matrice limo sabbiosa, localmente cementata, dal substrato roccioso; la sua profondità varia da un valore minimo di 14.3m, sotto il geofono n.24, ed un massimo di 15.4m in corrispondenza del geofono n.17.

Nella ghiaia grossolana le onde P hanno una velocità di 1900m/sec e le onde SH di 720m/sec, mentre nel substrato roccioso, la velocità delle onde P è di 2470m/sec e quella delle onde SH di 1170m/sec.

## Località: MARINA DI MASSA

### Via Lodolina (ST12)

Lo stendimento è stato realizzato lungo Via Lodolina, posizionando i geofoni lungo il lato est della viabilità.

I geofoni sono stati posizionati con una distanza intergeofonica di 5.0m, per una lunghezza complessiva di circa **120 metri**.

Per evitare l'elevato rumore di fondo dovuto alla presenza del tracciato stradale, è stato necessario acquisire i sismogrammi in orario notturno.

In questo modo è stato possibile ottenere, sia con le onde P che SH, sismogrammi di buona qualità che hanno consentito di individuare senza incertezze i tempi di primo arrivo.

Con l'indagine è stato possibile discriminare i seguenti quattro sismostrati:

- a terreno areato, rimaneggiato e sabbia limosa sopra falda
- b sabbia limosa sotto falda
- c ghiaia e ghiaietto in matrice limo sabbiosa
- d ghiaia grossolana in abbondante matrice limo sabbiosa.

Di seguito si descriverà la stratigrafia individuata con l'interpretazione delle onde SH, in quanto quella ottenuta con le onde P risulta "falsata" dalla presenza della falda.

Il primo rifratore è stato individuato con le onde P e permette di identificare la presenza della falda che individua la separazione fra il terreno superficiale sopra falda da quello sotto falda.

La profondità della falda stessa è risultata variabile da un minimo di 1.0m sotto il geofono n.1, ad un massimo di 1.7m sotto il geofono n.24.

La velocità delle onde P nello strato sopra falda è risultata di 350m/sec, mentre quella delle onde SH di 170m/sec.

Il secondo rifratore individua la superficie di contatto tra la sabbia limosa sotto falda e la ghiaia e ghiaietto in matrice limo sabbiosa e presenta una profondità che tende a diminuire dalla parte iniziale a quella finale della sezione con un valore massimo di 4.4m, sotto il geofono n.1, ed un minimo di 3.5m in corrispondenza del geofono n.24.

Nella sabbia limosa sotto falda le onde P presentano una velocità di 1320m/sec mentre le onde SH presentano una velocità di 170m/sec, la stessa dello strato sopra falda.

Nel terzo sismostrato costituito dalla ghiaia e ghiaietto la velocità delle onde P sale a 1500m/sec mentre quella delle onde SH si attesta su 320m/sec.

Anche il terzo rifratore, che individua la superficie di separazione tra la ghiaia e ghiaietto in matrice limo sabbiosa e la ghiaia grossolana in abbondante matrice limo sabbiosa, tende a risalire verso il piano campagna dalla parte iniziale a quella finale dello stendimento.

La profondità massima si ha sotto il geofono n.1 con 18.7m mentre quella minima sotto il geofono n.24 con 15.5 metri.

La velocità delle onde P nel quarto sismostrato è risultata di 1970m/sec, mentre quella delle onde SH di 670m/sec.

### Via Lodolina (ST13)

Lo stendimento è stato realizzato lungo Via Lodolina, posizionando i geofoni in prosecuzione di quelli dello stendimento ST12.

I geofoni sono stati posizionati con una distanza intergeofonica di 5.0m, per una lunghezza complessiva dello stendimento di circa **120 metri**.

Anche in questo caso, per attenuare l'elevato rumore di fondo dovuto alla presenza del tracciato stradale, è stato necessario acquisire i sismogrammi in orario notturno ed è stato così possibile ottenere, sia con le onde P che SH, sismogrammi di buona qualità che hanno consentito di individuare senza incertezze i tempi di primo arrivo.

Con l'indagine sono stati discriminati i seguenti quattro sismostrati:

- a terreno areato, rimaneggiato e sabbia limosa sopra falda
- b sabbia limosa sotto falda
- c ghiaia e ghiaietto in matrice limo sabbiosa
- d ghiaia grossolana in abbondante matrice limo sabbiosa.

Di seguito si descriverà la stratigrafia individuata con l'interpretazione delle onde SH, in quanto quella ottenuta con le onde P risulta "falsata" dalla presenza della falda.

Il primo rifratore è stato individuato con le onde P e permette di identificare la presenza della falda che individua la separazione fra il terreno superficiale sopra falda da quello sotto falda.

La profondità della falda stessa è risultata variabile da un massimo di 1.7m sotto il geofono n.1, ad un minimo di 1.2m sotto il geofono n.24.

La velocità delle onde P nello strato sopra falda è risultata di 350m/sec, mentre quella delle onde SH di 170m/sec.

Il secondo rifratore individua la superficie di contatto tra la sabbia limosa sotto falda e la ghiaia e ghiaietto in matrice limo sabbiosa e presenta una profondità che tende a diminuire dalla parte iniziale a quella finale della sezione con un valore massimo di 3.5m, sotto il geofono n.1, ed un minimo di 2.2m sotto il geofono n.17.

Nella parte terminale dello stendimento questo livello si assottiglia fino a scomparire e sotto il terreno rimaneggiato si incontra subito il livello di ghiaia.

Nella sabbia limosa sotto falda le onde P presentano una velocità di 1320m/sec mentre le onde SH presentano una velocità di 170m/sec, la stessa dello strato sopra falda.

Nel terzo sismostrato costituito dalla ghiaia e ghiaietto la velocità delle onde P sale a 1500m/sec mentre quella delle onde SH si attesta su 320m/sec.

Anche il terzo rifratore, che individua la superficie di separazione tra la ghiaia e ghiaietto in matrice limo sabbiosa e la ghiaia grossolana in abbondante matrice limo sabbiosa, tende a risalire verso il piano campagna dalla parte iniziale a quella finale dello stendimento.

La profondità massima si ha sotto il geofono n.1 con 15.3m mentre quella minima sotto il geofono n.24 con 5.9 metri.

La velocità delle onde P nel quarto sismostrato è risultata di 1970m/sec, mentre quella delle onde SH di 680m/sec.

Massa, 28/05/2013

Geognostica Apunana s.n.c.

Dott. Geol. Francesco Giusti