



11 NOV 2020

Copia conforme  
all'originale

Esperto Geometra  
Arch. Rosario Favitta

STUDIO

# RELAZIONE GEOLOGICA

ai sensi della circolare n. 3/ DRA del 20 giugno 2014

SITO

COMUNE DI PALERMO (PA)

VISTO

OGGETTO

RIDETERMINAZIONE URBANISTICA PER DECADENZA VINCOLI ESPROPRIATIVI,  
DI UN AREA IDENTIFICATA IN CATASTO AL FG. 74 PARTICELLA 946, NEL  
COMUNE DI PALERMO.

COMMITTENTE

OFIM S.p.A

DATA

01/07/2019

PROFESSIONISTA

Dott. Geologo Marcello Militello

Ordine Regionale dei Geologi di Sicilia  
Dott. Geol. Marcello Militello  
N. 2809 Sez. A

ALLEGATI

- I: ALLEGATI CARTOGRAFICI;
- II: INDAGINI GEOGNOSTICHE IN SITU.
- III: INDAGINI SISMICHE.

IL RESPONSABILE  
DEL PROGETTO

Esperto Geometra  
Arch. Rosario Favitta



IL COMMISSARIO AD ACTA  
ING. CIROME SACI VAPOR

## INDICE

1.	PREMESSA	pag.	1
2.	INQUADRAMENTO TERRITORIALE E OPERE IN PROGETTO	pag.	3
3.	INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE	pag.	6
	3.1 INQUADRAMENTO GEOLOGICO-STRUTTURALE E TETTONICO	pag.	6
	3.2 STRATIGRAFIA DELL'AREA	pag.	11
	3.3 MODELLO GEOLOGICO DEL SITO DI INTERVENTO	pag.	13
4.	INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO	pag.	18
	4.1 ASPETTI RELATIVI ALLA PERICOLOSITA' E RISCHIO IDRAULICO	pag.	21
5.	ASSETTO IDROGEOLOGICO	pag.	22
	5.1 Unità idrogeologica della piana di Palermo	pag.	23
	5.2 Complessi Idrogeologici	pag.	24
6.	ZONAZIONE SISMOGENETICA E PERICOLOSITÀ SISMICA	pag.	25
	6.1 CARATTERIZZAZIONE DELLE AZIONI SISMICHE	pag.	28
	6.2 INDAGINE DI SISMICA TROMOGRAFICA	pag.	29
	6.3 CENNI SULLA TEORIA DELLA TECNICA HVSR	pag.	31
	6.4 STRUMENTAZIONE E SOFTWARE UTILIZZATI	pag.	33
	6.5 INTERPRETAZIONE DELLE MISURE ESEGUITE	pag.	35
	6.6 MODELLO SISMICO E STRATIGRAFICO LOCALE	pag.	37
	6.7 INDAGINE DI SISMICA A RIFRAZIONE	pag.	39
	6.7.1 METODOLOGIA	pag.	39
	6.7.2 STRUMENTAZIONE UTILIZZATA INDAGINE DI SISMICA A RIFRAZIONE	PAG.	44
	6.7.3 GEOMETRIA DELLO STENDIMENTO SISMICO	PAG.	45
	6.7.4 INTERPRETAZIONE DELLE INDAGINI SISMICHE A RIFRAZIONE	PAG.	45
7.	CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEI TERRENI	pag.	48
8.	PRESCRIZIONI E INDICAZIONI ESECUTIVE (B2C)	pag.	51
9.	CONCLUSIONI	pag.	51

Allegato I: Allegati Cartografici;

Allegato II: Indagini di Simica Passiva Tromografica;

Allegato III: Indagini di Sismica a Rifrazione;

Allegato IV: Indagini geotecniche in situ prove penetrometriche dinamiche leggere.

## 1. PREMESSA

Su incarico conferito dalla Ditta OFIM S.p.A, lo scrivente Dott. Geol. Marcello Militello, ha eseguito uno studio Geologico, di supporto alla richiesta di "RIDETERMINAZIONE URBANISTICA PER DECADENZA VINCOLI ESPROPRIATIVI, DI UN AREA IDENTIFICATA IN CATASTO AL FG. 74 PARTICELLA 946, NEL COMUNE DI PALERMO".

Il seguente studio geologico è stato realizzato ai sensi della circolare n. 3/ DRA del 20 giugno 2014 con i seguenti scopi:

- Fornire un quadro conoscitivo sufficiente per illustrare le caratteristiche geologiche del territorio in esame e identificare le eventuali situazioni locali che presentino livelli di pericolosità geologica tali da poter influenzare, in modo significativo, le scelte di variante;
- Indicare le eventuali prescrizioni e gli eventuali accorgimenti tecnici affinché tali condizioni di pericolosità non si aggravino o si manifestino nelle zona in progetto.

Nello specifico, lo scopo del seguente lavoro è stato il seguente:

- Specificare le condizioni geomorfologiche, con particolare riguardo all'accertamento delle condizioni di stabilità della zona e all'individuazione di eventuali processi morfodinamici in atto e la loro tendenza evolutiva;
- Delineare gli aspetti geologici e tettonici del territorio e definirne natura e composizione dei litotipi affioranti, nonché la loro geometria e il loro assetto strutturale;
- Ricostruire la locale successione stratigrafica;
- Definire la situazione idrogeologica nel sottosuolo, dal momento che l'eventuale presenza di una circolazione idrica nel suo interno, comporterebbe maggiori problematiche d'ordine geotecnico;

- Identificare le situazioni locali che presentino livelli di pericolosità sismica.

La finalità principale è, quindi, quella di evitare che la rideterminazione urbanistica determini evoluzioni morfologiche incompatibili con gli usi antropici. Saranno, pertanto, illustrati gli aspetti morfologici, geologici, idrografici e sismici dell'area, inquadrati nella più vasta geologia regionale, con riferimento anche alle condizioni di stabilità.

Per assolvere all'incarico conferitogli, lo scrivente ha eseguito:

- Il sopralluogo preliminare, al fine di accertare la reale situazione dei luoghi e lo stato delle strutture ivi insediate.
- La ricerca bibliografica, allo scopo di ricostruire, sulla base degli studi svolti da numerosi autori italiani e stranieri, il quadro generale della storia geologica e strutturale della zona.
- Il rilevamento geologico e geomorfologico di dettaglio, in una zona estesa al contorno, in modo da avere un quadro d'insieme indicativo e, quindi, inquadrare il sito nell'ambito di un contesto geolitologico e geomorfologico più ampio.
- L'analisi di n.4 prove penetrometriche eseguite entro l'area oggetto di studio con un penetrometro dinamico leggero;
- L'analisi di n.2 acquisizioni sismiche tomografiche (Sondaggi TR1; e TR2) eseguite entro l'area oggetto di studio ai sensi dell'OPCM n. 3274 del 20/03/2003 (GU n.252 del 29/10/2003) e dalle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni D.M. 17 Gennaio 2018.
- L'analisi di n.2 indagini di sismica a rifrazione (Indagini RZ1 e RZ2) che hanno consentito di individuare le principali discontinuità grazie alla velocità delle onde P e di ricostruire il modello sismostratigrafico del sottosuolo in esame.

Il lavoro ha inoltre portato alla redazione dei seguenti allegati cartografici e digitali che ne costituiscono parte integrante (Tab.1.1):

ELABORATI CARTOGRAFICI E TECNICI		
Sigla	Nome	Scala
Fig.1	Inquadramento cartografico	1:25.000
Fig.2	Inquadramento cartografico	1:10.000
Fig.3	Inquadramento cartografico	1:2.000
Figg. 4-5	Colonne Stratigrafica	1:100
Tav_B1a_1	Raccolta dati - Indagini	1:10.000
Tav_B1b_1°	Cartografia di analisi - Carta Geomorfologica	1:10.000
TAV. B2a_2	Cartografia indagini Integrative - Indagini	1:2.000
TAV. B2b_3	Cartografia di analisi - Carta Geomorfologica	1:2.000
TAV. B2b_4	Cartografia di analisi - Carta Geologica	1:2.000
TAV. B2b_5	Cartografia di analisi - Carta Idrogeologica	1:2.000
TAV. B2b_6	Cartografia di analisi - Carta litotecnica	1:2.000
TAV. B2c_7	Cartografia di sintesi - Carta delle Prescrizioni esecutive	1:2.000
Database	Database di dati georiferiti	-

Tab.1.1 - Elenco degli elaborati cartografici allegati al presente studio geologico.

## 2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE E SINTESI DELLE OPERE IN PROGETTO

L'area oggetto del presente studio è ubicata nel Comune di Palermo in un lotto di terreno esteso mq. 15.120 e confinante a nord-ovest con la via Buonriposo, da cui trova accesso al civico n.70, a sud-est con sede Ferroviaria e con proprietà aliene a nord-est e a sud-ovest. L'area risulta oggi impegnata da un complesso industriale dismesso articolato con una serie di corpi di fabbrica, di varie tipologie edilizie, che erano legate al processo produttivo ivi esercitato.

Dal punto di vista topografico il sito si inquadra nella Tavoletta I.G.M. 249 II NE in scala 1:25.000 (*Fig. 1*) e nella sezione 595050 della Carta Tecnica Regionale in scala 1:10.000 (*Fig. 2*).

Altimetricamente si localizza a quote comprese tra 18,5 e 17,7 mt. s.l.m., ed è

caratterizzata da una morfologia pianeggiante leggermente degradante verso la nord (Fig. 3). Catastalmente il sito risulta censito al FG. 74 PART. 946 (Fig. 2.1).

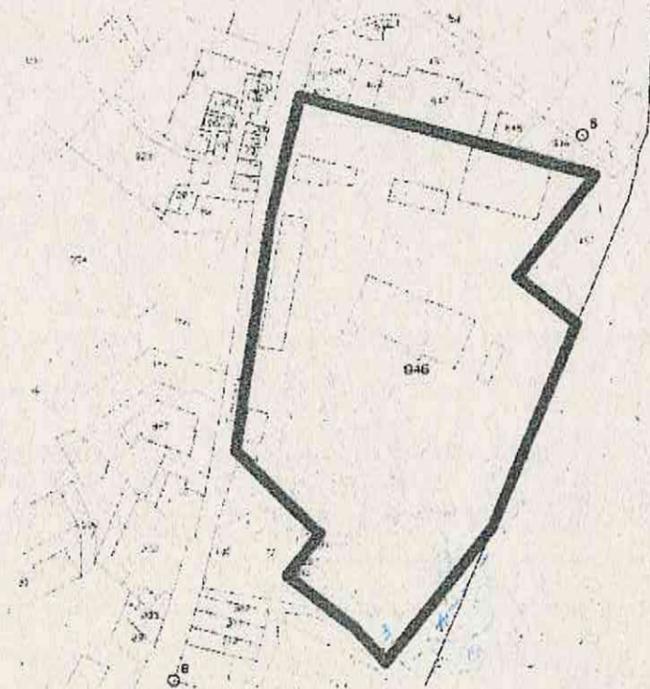


Fig. 2.1: Stralcio Catastale foglio 74 particella 946.

Attualmente l'area in oggetto ricade nel vigente PRG della città di Palermo in zone destinate a servizi pubblici (Fig. 2.2.), e più precisamente a: V2 (campi sportivi), IC1 (Chiese e centri religiosi), S1 (asili nido) e P (parcheggio pubblico).

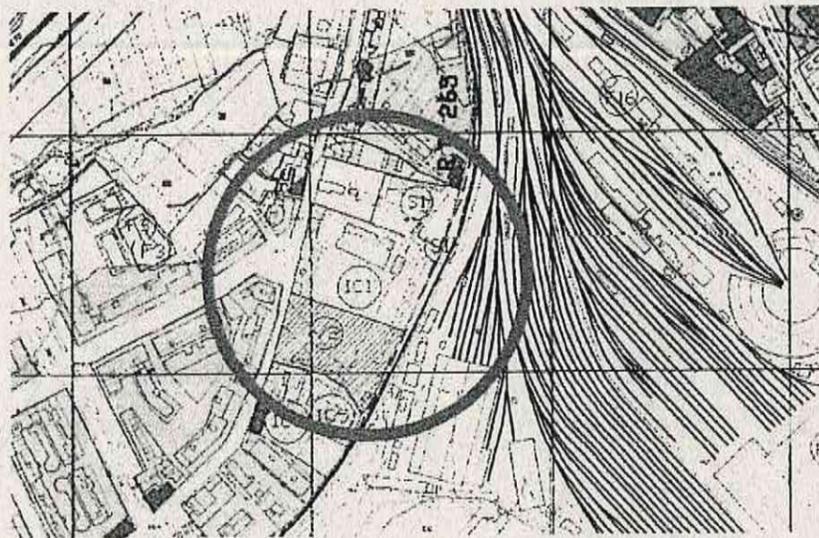


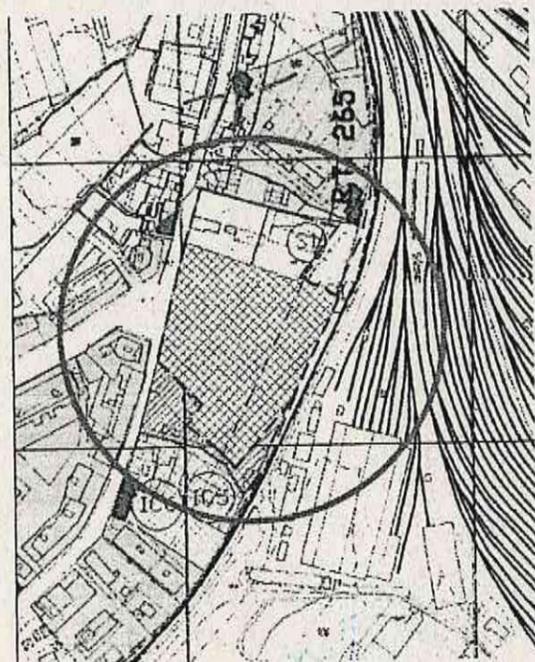
Fig. 2.2: Stralcio di P.R.G. vigente (Vincoli espropriativi scaduti)

Tali vincoli di PRG, preordinati all'esproprio, risultano oggi abbondantemente decaduti, configurandosi il lotto in questione come area non urbanisticamente disciplinata, ossia c.d. "zona bianca".

A seguito di ricorso della OFIM S.p.A e della sentenza C.G.A. n°480/2018, veniva nominato Commissario ad ACTA, Ing. Salvatore Cirone, dell'Assessorato del Territorio e dell'Ambiente dipartimento dell'Urbanistica della Regione Siciliana.

Con verbale del 11/03/2019, Il Commissario ad Acta delegato, ha proposto per l'area in oggetto:

- Il mantenimento della destinazione a parcheggio (P) e a scuola (S1) delle zone già individuate con precedente vincolo e/o estensione per una superficie di 4.000 mq., da individuare in sede di redazione della variante, in quanto attrezzature deficitarie e ritenute effettivamente necessarie per i cittadini e mutamente interconnesse;
- La cessione a titolo gratuito delle superiori aree, libere da eventuali manufatti con la realizzazione da parte della Ditta OFIM del parcheggio secondo le indicazioni degli Uffici comunali in sede esecutiva;
- La rinuncia a qualsiasi indennizzo/ristoro passato e futuro sulle aree oggetto della presente rideterminazione urbanistica;
- L'assegnazione della destinazione urbanistica D2 alle restanti aree precedentemente indicate e vincolate come IC1 e V2 con le prescrizioni, limitazioni ed obblighi di cui alle NTA per le suddette zone con la precisazione che la dizione previa "predisposizione di piani particolareggiati" sia intesa anche di "iniziativa privata" e interessante tutta l'area con la fruizione pubblica legata all'utilizzo dell'attività eventualmente proposta, di eventuali parcheggi pertinenziali.



Proposta di variante     Nuova zona     

Con nota prot. 693763 del 17/05/2019, Il Comune di Palermo, area tecnica della riqualificazione urbana e della pianificazione urbanistica, chiedeva all'OFIM S.P.A. la produzione della presente relazione geologica, redatta conformemente a quanto disposta dalla Circolare 3DRA del 20 Giugno 2014 e per le finalità previste dall'art.15 della L. R. 16/16.

### 3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE

#### 3.1 – Inquadramento geologico-strutturale e tettonico

L'area in esame, che ricade nel settore centrale del territorio palermitano si trova in uno dei tratti di raccordo di questi due complessi morfologici che caratterizzano l'assetto fisiografico del Comune (Fig. 3.1.1).

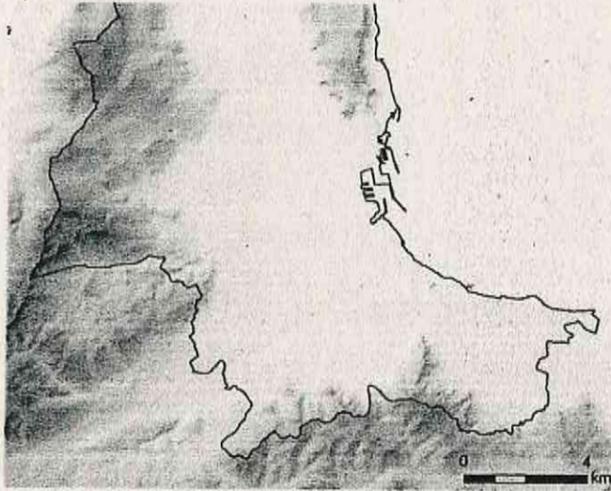


Fig.3.1.1: Inquadramento generale dell'area

I Monti di Palermo costituiscono una porzione occidentale dell'elemento "esterno" della Catena Maghrebide Siciliana e sono costituiti da unità tettoniche sovrapposte frutto della fase tettonica compressiva iniziata nel Terziario superiore ed intervallata da episodi estensionali. Tali movimenti, congiuntamente alle oscillazioni quaternarie del livello del mare, hanno creato un complicato assetto caratterizzato da una complicata griglia di sistemi di faglie con svariate orientazioni.

Le unità tettoniche (Unità Stratigrafico-Strutturali) che caratterizzano questo settore sono costituite da successioni carbonatiche e carbonatico-terrigene di età mesozoico-terziaria, derivanti dalla deformazione del paleodomino Panormide e da depositi quaternari continentali e marini. Le Unità Panormidi sono sovrapposte tettonicamente alle Unità Imeresi, con un contatto di primo ordine, che si imposta generalmente in corrispondenza delle coperture argillo-marnoso-quarzarenitiche terziarie appartenenti alla Formazione del Flysch Numidico.

A seguito della tettonica recente, gli originari contatti geometrici tra gli ammassi rocciosi, che costituiscono l'ossatura dei Monti di Palermo, sono stati ripresi ed ulteriormente dislocati. L'edificio tettonico, infatti, è disseccato da sistemi di faglie ad alto angolo, dispersi lungo direzioni prevalenti N-S, NW-SE, NE-SW a componente trascorrente, inquadrabili in un sistema neotettonico che ha

interessato l'orogene già strutturato, dando luogo ad una serie di alti e bassi morfostrutturali.

In corrispondenza della Piana di Palermo, che s'impone su una depressione morfostrutturale, questo complicato assetto geologico-strutturale è mascherato dalla presenza di coperture quaternarie, costituite di calcareniti e/o argille sabbiose e sabbie con spessori variabili.

L'area della piana di Palermo è caratterizzata dalla presenza di alcuni alti strutturali che "la bordano" sia a NO che nei settori SE. Questi alti strutturali sono il risultato della deformazione di antichi domini paleogeografici caratterizzati da omogeneità di facies e di comportamento strutturale (Unità Stratigrafico-Strutturali – U.S.S.) e, costituiti da successioni carbonatiche meso-cenozoiche di ambienti di piattaforma (Dominio Panormide) e di scarpata-bacino (Dominio Imerese). Questi alti strutturali sono attualmente separati da alcune profonde incisioni (Depressione tettonica dell'Eleuterio, Incisione del Fiume Oreto) e la loro presenza è stata riscontrata anche nell'area marina grazie a profili sismici e campagne oceanografiche (Progetto CARG – ISPRA). In corrispondenza della piana di Palermo, tali corpi geologici non sono visibili in superficie a causa della presenza di depositi sin-orogenici e post-orogenici sedimentari silico-clastici del Flysch numidico (Oligocene sup – Miocene inf.) Nelle aree a ridosso dei rilievi carbonatici e, successivamente, da quelli clastico-carbonatici plio-quaternari potenti mediamente intorno ai 100 m (Progetto Carg).

Volendo riassumere brevemente gli accadimenti che hanno portato all'attuale assetto geologico-strutturale dell'area, è possibile schematizzare tali eventi come segue:

- Fase deposizionale: deposizione, in ambienti di piattaforma, scarpata continentale e bacino, dei depositi carbonatici afferenti ai domini Panormide ed Imerese (Trias sup. – Cretacico sup.);
- Fase compressiva: deformazione e sovrapposizione delle Unità Imeresi e Panormidi sulle unità di piattaforma carbonatica ancora

"radicate" con formazione di faglie inverse a basso angolo (Miocene medio-superiore);

- Fase Transpressiva: la deformazione si estende alle Unità Trapanesi più profonde generando sistemi di faglie inverse ad alto angolo, pieghe e sovrascorrimenti (Miocene superiore-Pleistocene inferiore);

La storia recente dell'area in esame è stata caratterizzata da un lento e graduale sollevamento tettonico regionale (Uplift) attuatosi con tassi di sollevamento differente per ogni settore, ma generalmente contenuti; agli effetti di questo sollevamento (es. valli incise dei fiumi principali) si sono sovrapposti gli effetti delle oscillazioni del livello del mare (oscillazioni glacio-eustatiche) durante il Pleistocene superiore. Tali agenti non hanno causato la formazione di sistemi di faglie ma hanno fortemente influenzato la stratigrafia e la morfologia.

In particolare, i litotipi affioranti nell'intorno del sito in progetto sono di seguito descritti; questi fanno riferimento allo stralcio del Foglio 595 "Palermo" del CARG (Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000) e sono elencati dal più recente al più antico con le relative sigle ufficiali della nuova cartografia geologica in uso:

#### Depositi continentali

##### Sistema di Polignano - BLT

Quarzareniti sabbie quarzose e calcareniti eoliche con intercalazioni di clasti rudici provenienti dalla degradazione dei versanti. Spessori variabili tra 1 e 8 metri. Affiorano lungo le attuali aree costiere (in facies di duna costiera) o addossati ai versanti che circondano tali aree (in facies di duna di ostacolo). Il limite inferiore è una superficie di non deposizione o di erosione subaerea al tetto dei depositi del SNP o su termini più antichi e depositi pre-quadernari. Il limite superiore è la superficie di erosione marina eutirreniana o una superficie di erosione subaerea.

##### Depositi quadernari marini

##### Calcareniti di Palermo - MRSd

Calcareniti e calciruditi da bianche a giallo-rossastre a stratificazione incrociata;

calcareniti e sabbie giallastre bioclastiche a molluschi, ostracodi, radioli di echinidi, foraminiferi bentonici e planctonici. Intercalazioni di conglomerati immersi in una matrice prevalentemente sabbiosa (Associazione di facies di ambiente neritico e litorale). Limite inferiore discordante e netto su BLC, TRB e termini mesocenoziici panormidi e imeresi, graduale su MRSe. Spessori massimi 80 metri.

EMILIANO-SICILIANO

### **Successioni della Piattaforma Carbonatica Panormide**

#### **Formazione Valdesi - VSI**

Calcilutiti e calcareniti bioclastiche con macroforaminiferi associazioni di orbitoidi, alveolinidi, nummulitidi, in forme piccole e grandi (Fasciolites oblungus, Orbitoides lehmanni, Discocyclina roberti e Nummulites molli), briozoi, alghe calcaree, frammenti di echinodermi e coralli. Spessore 50-70 m. Limite inferiore discordante su LEG. Ambiente di piattaforma carbonatica aperta.

EOCENE (Luteziano)

#### **Formazione Pellegrino - LEG**

Calcareniti e breccie bioclastiche a orbitoline e frammenti di rudistidi, alternanze di biolititi a caprinidi e radiolitidi con rare intercalazioni di laminiti stromatolitiche e loferitiche. A luoghi calcilutiti ad alghe e foraminiferi bentonici (biozona a Orbitolina conica) e banchi di conglomerati ad elementi grossolani di rudiste arrotondate. Spessori affioranti circa 300 m. Limite inferiore discordante o paraconcordante su RFF. Ambiente di piattaforma carbonatica, di margine (scogliera) e di scarpata superiore.

CRETACICO SUPERIORE (Albiano superiore - Cenomaniano)

#### **Calcari Di Capo Gallo - AFU**

Calcari bioclastici a requienidi e orbitoline (Orbitolina praecursor), calcilutiti a gasteropodi (Nerinee) e caprinidi, calcari stromatolitici e loferitici e calcareniti oolitiche. Spessori affioranti circa 400 m. Limite inferiore discordante su PNB. Ambiente di laguna di retroscogliera, piana tidale e barra oolitica e scogliera.

CRETACICO INFERIORE (Barremiano-Aptiano)

**Calcari Di Piano Battaglia - PNB**

Biolititi coralgali, calcareniti oolitiche, calcareniti e calciruditi con *Ellipsactinia* sp., *Nerinea* sp., molluschi, resti di echinidi e rare ammoniti (associazione di facies scogliera e avanscogliera e barra oolitica). Spessore 200-350 m. Limite inferiore discordante su BCH e CZP. MALM (Titonico) - NEOCOMIANO

**Formazione Capo Rama - RMFa**

Calcari dolomitici ad alghe calcaree (*Heteroporella* sp.) e magalodontidi, dolomie stromatolitiche e loferitiche, biolititi coralgali (Calcari di Costa della Ginestra). Spessori 500 m. Limite inferiore non affiorante. Ambienti di laguna di retroscogliera a moderata energia, prossima alla scogliera.

TRIAS SUPERIORE - LIAS INFERIORE

**In Conclusione non sono riportate nella cartografia ufficiale né sono state rilevate, nell'ambito del fondo esaminato e nelle immediate vicinanze, importanti direttrici tettoniche recenti ed attive, tali da determinare condizioni geologico-strutturali particolarmente sfavorevoli dal punto di vista sismico.**

**3.2 STRATIGRAFIA DELL'AREA**

Dal punto di vista geologico stratigrafico è possibile riconoscere dal basso verso l'alto la seguente successione geologica stratigrafica:

DEPOSITI QUATERNARI DI ORIGINE MARINA

**Sintema di Marsala**

Tale unità è diffusa in ampi settori costieri della Sicilia Nord-Occidentale, comprende depositi argillosi (auct. Argille Azzurre) e depositi da sabbiosi a calcarenito-conglomeratici. Nell'area del palermitano sono diffusamente affioranti calcareniti e sabbie giallastre, bioclastiche a molluschi, ostracodi ed echinidi con intercalazioni di conglomerati immersi in una matrice prevalentemente sabbiosa. Spessore massimo 90 m. (Siciliano). Nell'area in esame è presente la

seguinte sub-unità:



- **Calcareniti di Palermo (MRSd):** Calcareniti e/o calciruditi con prevalenza di bioclasti, aventi una colorazione dal biancastro al giallastro, passanti verso il basso a calcisiltiti e sabbie. La cementazione presenta un grado estremamente variabile e risulta sia primaria (calcite microcristallina), che secondaria (calcite spatica). Il grado di cementazione originario è spesso alterato dalla presenza della falda idrica. Si osserva la presenza di strutture sedimentarie di vario tipo (laminazioni incrociate, ripples) che a luoghi ne interrompono la giacitura tabulare. In perforazione le calcareniti di Palermo sono state rinvenute fino ad uno spessore massimo di circa 80 metri (località Resuttana ai Colli, tavoletta Palermo) e sono state attribuite al Siciliano. Nelle poche sezioni naturali ed artificiali si osservano banchi decimetrici a luoghi centimetrici, con una stratificazione generalmente piano parallela debolmente immergente verso i quadranti nord-orientali (falde di Monte Pellegrino - Sampolo). Tali litotipi sono generalmente ricoperti da una coltre eluvio colluviale costituita da argille sabbiose rossastre (AFLb2). Spessore massimo 80 m. **(Litotipo presente nell'area oggetto di studio)**

(PLEISTOCENE INFERIORE).

#### DEPOSITI QUATERNARI CONTINENTALI

Nell'area affiorano diffusamente depositi continentali recenti appartenenti al Sintema Di Capo Plaia (AFL) che raggruppa tutti i depositi continentali formati a partire dalla fine dell'ultima glaciazione che ricoprono in discordanza i depositi più antichi. In particolare, nell'area in esame, sono presenti le seguenti unità:

#### **Sintema di Raffo Rosso (RFR)**

Detriti variamente stratificati e cementati potenti fino ad una decina di metri, organizzati in strati ben classati, di spessore variabile da 0,5 a 2 m, formati da clasti

carbonatici angolosi o smussati (diametro medio compreso fra 2 e 50 cm) granosostenuti, con matrice rara o del tutto assente e differente grado di cementazione. Verso l'alto a varie quote si intercalano paleosuoli arrossati, in parte rimaneggiati ("terre rosse"). Questi depositi sono localizzati al piede delle grandi scarpate rocciose o alla base dei versanti fortemente inclinati. Essi sono tipici di periodi di recrudescenza climatica, quando i processi di degradazione meccanica delle rocce erano molto intensi e, lungo i versanti montuosi, favorivano la produzione di grandi quantità di materiale detritico. A seguito di processi di caduta di detrito o di crollo/ribaltamento, questo materiale disgregato si è poi accumulato alla base dei pendii e si è organizzato in strati e livelli solitamente ben classati che, sotto il peso dei successivi accumuli e grazie alla presenza di acque circolanti, sono andati incontro a processi di costipamento e cementazione. Sotto queste condizioni potevano così svilupparsi successioni di detrito stratificato e cementato spesse anche qualche decina di metri. Lungo le attuali aree costiere si possono rinvenire anche delle arenarie quarzose o calcaree.

PLEISTOCENE SUPERIORE – OLOCENE.

#### **Sintema di Capo Plaia (AFL)**

Al sintema di Capo Plaia appartengono i depositi accumulatisi durante la risalita olocenica del livello marino. Questi depositi giacciono su superfici di trasgressione erosiva indistintamente sui depositi più antichi. Nello specifico trattasi di depositi recenti costituiti da materiali vari e relativi ad ambienti sia continentali che di transizione, spesso interessati da evidenti eteropie laterali. Nello specifico si osservano materiale eterogeneo costituito da clasti spigolosi non cementati di varia natura accumulatisi, per fenomeni gravitativi, alla base dei rilievi (**detrito di versante - AFL a3**) ed aventi spessori compresi tra pochi cm e 0.5 m; depositi eluvio colluviali formati in seguito a fenomeni di alterazione in situ costituiti da terre rosso-brune aventi spessori compresi tra pochi cm ed il mezzo metro (**depositi eluvio-colluviali - AFL b2**); Depositati eluvio-colluviali costituiti da depositi sabbio-limosi rossastri contenenti abbondanti ciottoli calcarei e silicei eterometrici e

generalmente arrotondati. Tali depositi sono mappati come di tipo alluvionale nella cartografia geologica ufficiale (Progetto CARG), tuttavia la loro distinzione da quelli eluvio – colluviali (AFL b2) avviene solamente sulla base della presenza di ciottoli in percentuale rilevante e non per la presenza di caratteri alluvionali in senso stretto (Depositi alluvionali b – sabbie ghiaiose - AFL b).

PLEISTOCENE SUPERIORE-OLOCENE.

### 3.3 MODELLO GEOLOGICO DEL SITO DI INTERVENTO

Al fine di ricostruire la locale successione dei terreni di stretto interesse, sono stati presi in considerazione le colonne stratigrafiche ottenute dalla terebrazione di n°2 sondaggi a c.c. effettuati in area prossimale al sito in progetto, le interpretazioni delle indagini sismiche e delle prove penetrometriche effettuate all'interno dell'area oggetto di studio.

Di seguito di riportano le colonne stratigrafiche dei due sondaggi, a carotaggio continuo eseguiti per il progetto della metropolitana leggera e reperibili sul sito:

[https://www.comune.palermo.it/grandi\\_opere\\_metro\\_leggera.php](https://www.comune.palermo.it/grandi_opere_metro_leggera.php)

Per l'ubicazione vedi tavola della raccolta dati Tav\_B1a\_1 in scala 1:10.000.

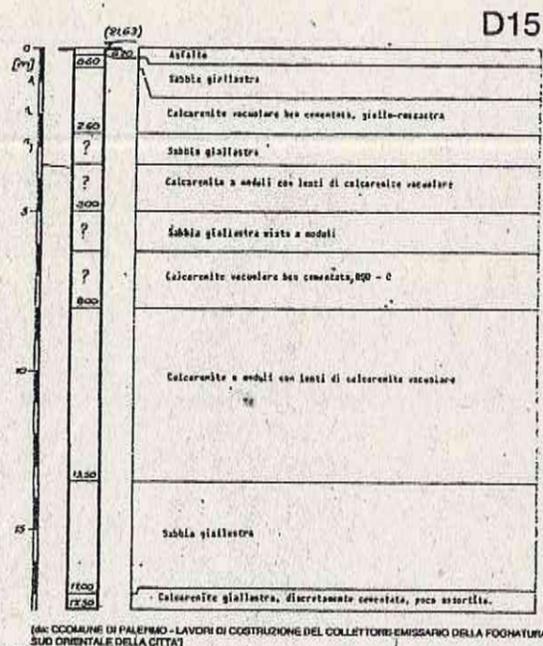


Fig.3.3.1: Colonna stratigrafica sondaggio D15.

La comparazione dei dati di letteratura con i risultati delle indagini eseguite mostrano una certa omogeneità latero-verticale dei terreni presenti ed una corrispondenza con la lettura geologica dell'area.

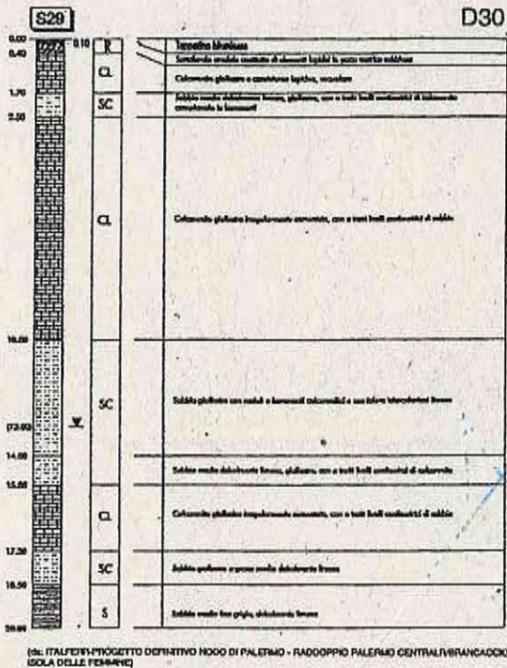


Fig.3.3.2: Colonna stratigrafica sondaggio D30.

In particolare la locale serie stratigrafica può essere così sintetizzata (Vedi Colonne Stratigrafiche Figg. 4 -5- 6 e Sezioni sismostratigrafiche):

**Materiale di Riporto**

**Da 0 – 1,20/1,60 dal p.c.:** Riporti di varia natura costituiti prevalentemente da sabbie grigio rossastre con blocchi carbonatici. Nella parte orientale dell'area si riscontrano spessori fino a -2.4 mt. dal p.c.

**Calcareniti della Piana di Palermo**

**Da 1,6/2,4 – fino ad oltre 20 mt. dal p.c.:** Alternanza di calcarenite biodetritica, spesso macrofossilifera, talora vacuolare, di colore giallastro, con stratificazione sub-orizzontale in livelli centimetrici e decimetrici, variamente cementata, da lapidea a tenera e friabile, passante localmente a sabbia o/a sabbia giallastra e subordinati sottili livelli calcarenitici.

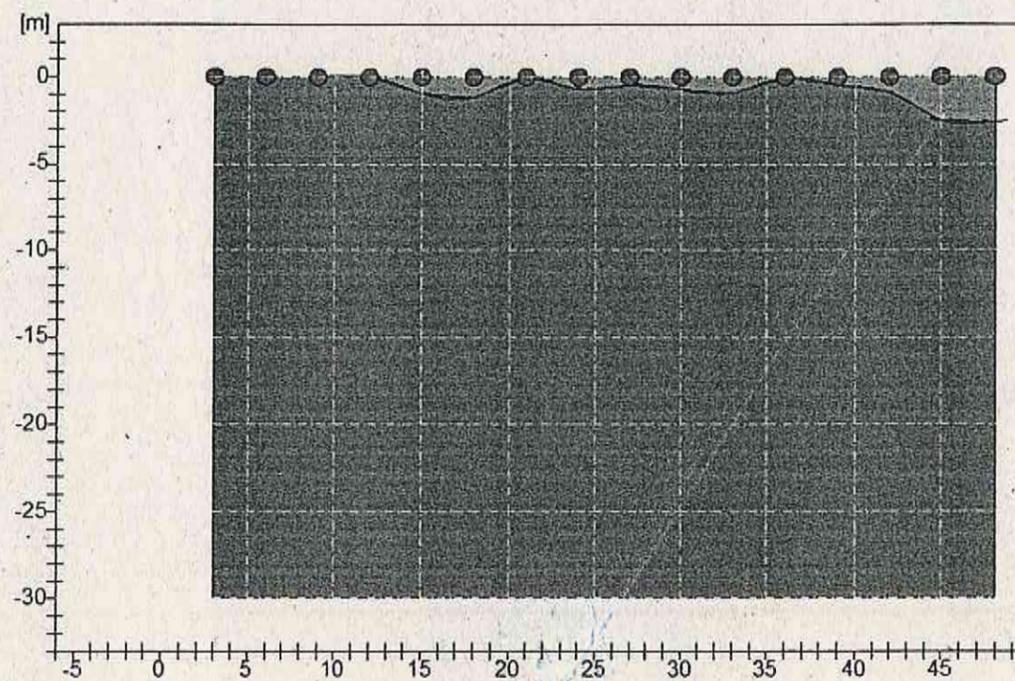


Fig. 3.3.3: Sezione Stratigrafica S1. Per la traccia vedi Tav. 2 B2a carta delle indagini.

 Terreno di Riporto.

 Formazione Calcarenitico sabbiosa.

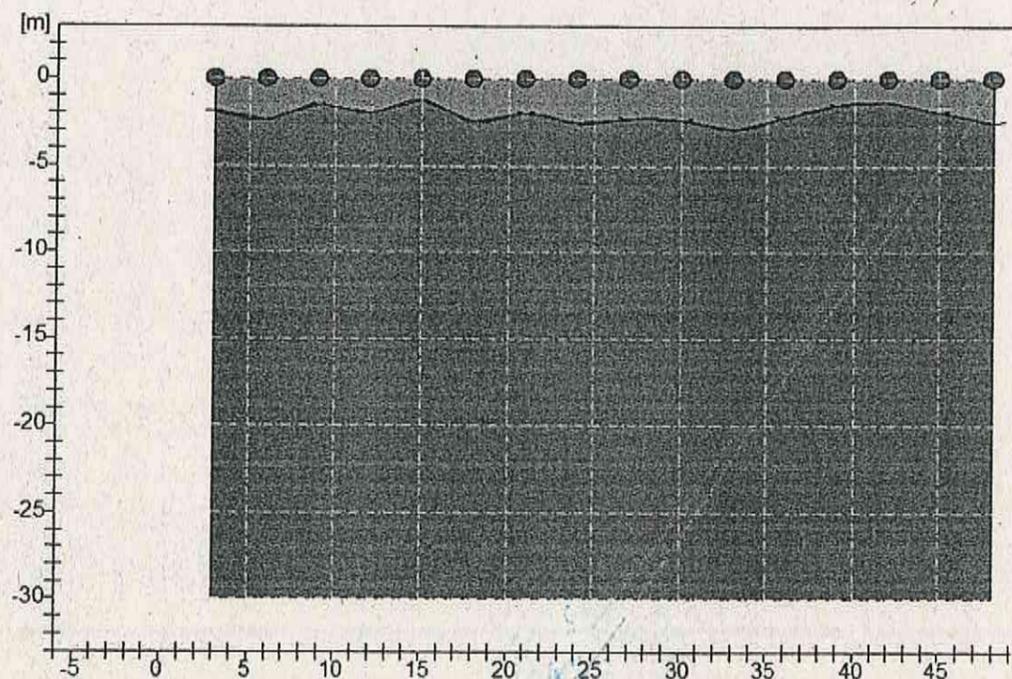
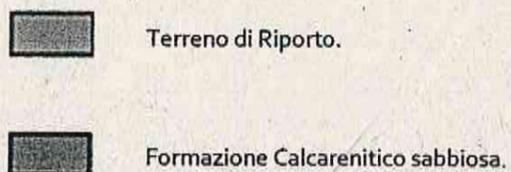


Fig. 3.3.4: Sezione Stratigrafica S2. Per la traccia vedi Tav. 2 B2a carta delle indagini.



In conclusione nell'area di stretto interesse si è riscontrata la presenza di depositi calcarenitici afferenti alle Calcareniti di Palermo. Tali depositi risultano ricoperti da una coltre di materiale di riporto di spessore variabile e distribuzione estremamente disomogenea, risultando talora quasi assente.

Il rilievo geologico della zona, nonché il lavoro di ricerca bibliografica, hanno portato alla stesura delle Cartografie di analisi (carta geologica) TAV B2b\_3 in scala 1:2.000 allegata a questo lavoro.

#### 4. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

I principali lineamenti geomorfologici della suddetta area sono da mettere in relazione alla natura geolitologica del substrato ed agli agenti morfogenetici che in esso hanno luogo. Dal punto di vista geomorfologico l'area in esame si trova nel settore settentrionali della piana di Palermo ad una quota di circa 18 m s.l.m. con pendenze leggermente degradanti verso nord-nord est. La Piana di Palermo si estende per oltre 120 Km<sup>2</sup> ed è delimitata, oltre che dalla linea di costa, da una serie di rilievi carbonatici aventi quote comprese tra 800 e 1000 m s.l.m., noti come "Monti di Palermo", mentre ad Est è delimitata dal Fiume Eleuterio che la separa dalla Piana di Bagheria. L'andamento della Piana è regolare con pendenze contenute comprese tra 10-15 %, nei settori più acclivi, e 0-2 %. In questo contesto di geometrie regolari e superfici da poco inclinate a pene-planari, si riscontra la presenza di alcuni alti morfologici di modesta entità. L'attuale assetto morfologico è determinato essenzialmente da due fattori: un lento e graduale sollevamento tettonico regionale (Uplift) ed il susseguirsi delle oscillazioni glacio-eustatiche quaternarie che hanno lasciato forme e depositi caratteristici. A testimonianza dell'uplift tettonico, nella piana sono presenti numerosi incisioni, riferibili al reticolo idrografico, che ne interrompono la monotonia geomorfologica dei luoghi.

Il prodotto degli agenti morfogenetici su un deposito sedimentario prevalentemente di natura bioclastica, quali le calcareniti della Piana di Palermo, hanno determinato una serie di pianori a diversa quota, con dislivelli di qualche metro, raccordati da piccole scarpate. Attualmente tali morfologie risultano mascherate dall'intensa antropizzazione. La configurazione della rete drenante dei bacini idrografici all'interno della Piana di Palermo rappresenta il risultato di numerose modificazioni naturali ed artificiali, avvenute anche in epoca recente ed in occasione delle bonifiche idrauliche. Attualmente, l'idrografia principale è rappresentata da tre corsi d'acqua: Fiume Oreto, Fiume Eleuterio e Canale Passo di Rigano. Si riscontrano, altresì, la presenza di linee drenaggio minori, i più importanti dei quali, procedendo da ovest verso est, sono: Canale Celona, Canale

Mortillaro, Canale Borsellino, Canale Luparello. Tali canali si innestano nel tratto di testa del Passo di Rigano, il quale attraversando la parte settentrionale dell'attuale centro abitato di Palermo, diventa canale interrato e sfocia in prossimità del sito in progetto. Il Canale Boccadifalco, fu costruito successivamente all'alluvione del Febbraio 1931 a protezione della città. In tale canale, sono raccolte le acque provenienti dal Vallone Paradiso e le acque del Vadduneddu, che poi scaricano direttamente nel Fiume Oreto all'altezza del Ponte di Corleone. Altri canali minori sono concentrati prevalentemente nella zona di Acqua dei Corsari (Canale Vetrano, Valloneria, Briuccia). L'idrografia superficiale, nell'area in progetto, è pressoché assente, sia a causa dell'andamento pianeggiante dell'intera zona, che per l'intensa urbanizzazione dell'area. Infatti, le varie strade di penetrazione e le costruzioni dei vari edifici presenti hanno, di fatto portato ad un totale riassetto dell'equilibrio idrogeologico dell'area. In ogni caso, è da segnalare che l'elevato grado di permeabilità delle calcareniti, evita il ristagno di acque piovane in superficie, favorendo l'infiltrazione delle acque di scorrimento superficiale e di conseguenza un loro veloce smaltimento. L'elemento idrografico principale e vicino al sito in progetto, risulta essere il Fiume Oreto il cui alveo, in questo tratto risulta comunque confinato ed incassato lungo le pareti calcarenitiche e mostra un dislivello con il sito in progetto di oltre 10 metri, rimanendo al riparo da eventuali fenomeni di esondazione. A dimostrazione dell'assunto l'area non ricade in nessun scenario di pericolosità e rischio idraulico. L'area in oggetto è costituita da una superficie sub-pianeggiante (inclinazione < di 15°). Pertanto è possibile attribuire una **categoria topografica T1** ai sensi delle NTC 18.

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

Tab. 4.3.1: Categorie topografiche ai sensi delle NTC-08. In rosso è indicata la categoria d'appartenenza del sito.

Allo stato attuale non si segnalano fenomeni di instabilità in atto o potenziali. L'assunto trova riscontro sugli elaborati cartografici redatti dal PAI, che non segnalano l'area in nessun scenario di pericolosità e rischio geomorfologico ed idraulico (Figg. 4.3.1 e 4.3.2).

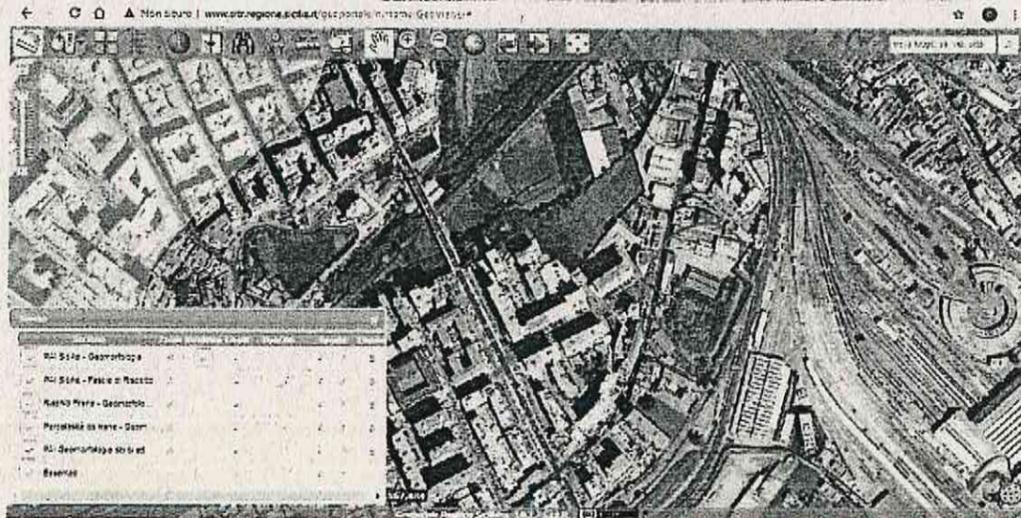


Fig. 4.3.1: Stralcio della Carta della pericolosità e rischio geomorfologico PAI.

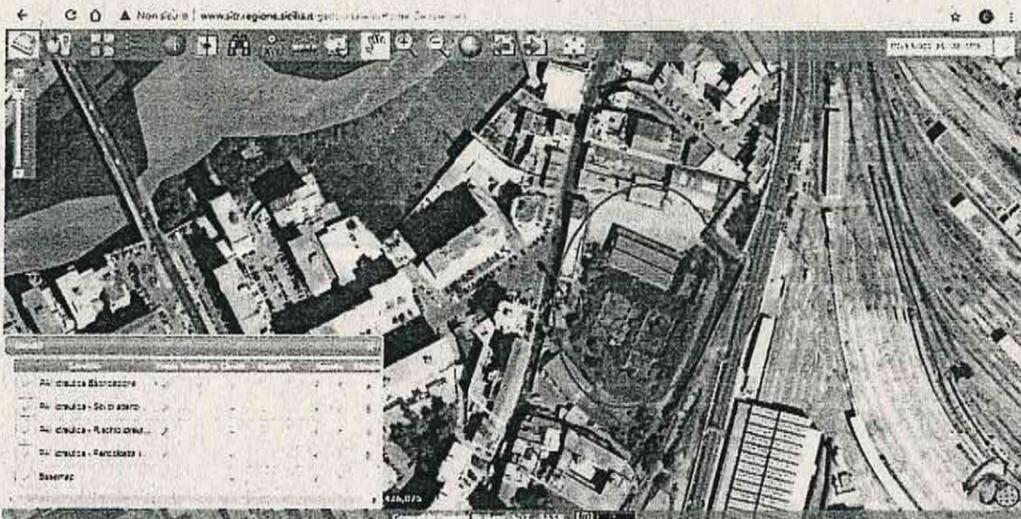


Fig. 4.3.2: Stralcio della Carta della pericolosità e rischio idraulico PAI.

**In Conclusione** l'assetto generale del territorio studiato appartiene alla Categoria Topografica T1 (ai sensi delle NTC 2018); in essa non si evidenzia, allo stato attuale, l'esistenza di processi morfodinamici in atto, tanto meno nello stretto ambito dell'area di competenza, né sono stati individuati gravi agenti geodinamici

che possano turbare, anche in futuro, le attuali condizioni di equilibrio.

Dai rilievi geomorfologici effettuati nell'area in esame e in un suo intorno significativo lo scrivente può asserire che:

- ✓ Nell'area oggetto di studio non esistono particolari morfologie (creste rocciose, cocuzzoli, dorsali scarpate, ecc), dove possono verificarsi localizzazioni dell'energia sismica incidente con conseguente esaltazione dell'ampiezza delle onde;
- ✓ Nell'area oggetto di studio non si rilevano depositi alluvionali e di falde di detrito, anche per spessori di poche decine di metri, dove per effetto della riflessione multipla e di interferenza delle onde sismiche entro il deposito stesso, si possono generare variazioni della risposta sismica locale;
- ✓ Non si riscontrano problemi connessi con fenomeni di stabilità di vario tipo con attivazione e riattivazione di frane potenziali o quiescenti e crolli di massi da pareti rocciose, che possono comportare un rischio per l'opera in progetto, con gravi conseguenze per l'ambiente.

#### 4.1 ASPETTI RELATIVI ALLA PERICOLOSITÀ ED AL RISCHIO IDRAULICO

Per quanto riguarda la pericolosità ed il rischio idraulico, sono stati esaminati i dati relativi alle cartografie ed alle relazioni del Piano di stralcio di bacino per l'assetto idrogeologico della Regione Siciliana (P.A.I. Sicilia) relativamente all'area Bacino idrografico del Fiume Oreto. L'analisi riguardante lo stato di fatto relativo all'assetto idraulico, ha lo scopo di fornire un quadro generale dell'area rispetto alle norme riguardanti la pericolosità ed il rischio idraulico (Decreto ARTA n 298/41 del 04/07/2000).

In Conclusione, dal punto di vista idraulico, l'area in esame non ricade in aree vincolate come si evince dalla cartografia allegata al PAI Sicilia, pubblicata nel portale dedicato (comprensiva degli ultimi aggiornamenti) relativamente a: siti d'attenzione; pericolosità e rischio idraulico. Si può asserire

che la richiesta di variante urbanistica non comporta quindi né incentivazione del livello di pericolosità, né effettivo rischio, essendo quest'ultimo nullo.

Quanto sopra è espresso graficamente nella cartografia di analisi e di sintesi, carta geomorfologica in scala 1:2.000 e 1:10.000 geo tavola B1b\_1a e B2b\_5.

## 5. ASSETTO IDROGEOLOGICO

I terreni di natura calcarea e calcareo dolomitica, affioranti nei Monti di Palermo possono essere raggruppati in due complessi idrogeologici caratterizzati da permeabilità per fessurazione e carsismo. Le strutture di natura calcarea e calcareo dolomitica, affioranti nella parte settentrionale, meridionale e orientale dei Monti di Palermo, costituiscono importanti bacini di raccolta delle acque meteoriche che alimentano indirettamente gli acquiferi sotterranei della pianura quaternaria che si estende ai piedi dei monti stessi.

Tali terreni rappresentano le principali idrostrutture che alimentano gli acquiferi della Piana di Palermo.

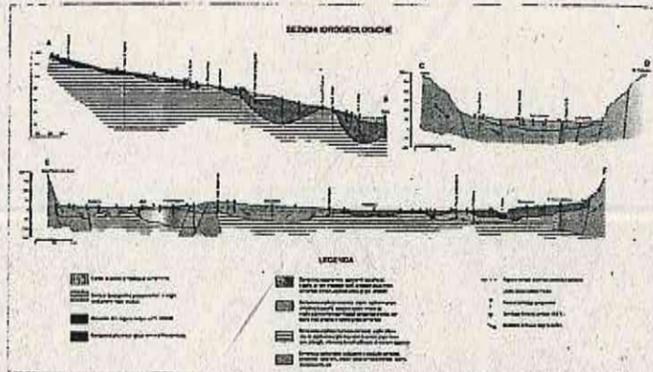


Fig. 5.1: Profilo Idrogeologico della Piana di Palermo.

In quasi tutta la Piana di Palermo, si sviluppano i terreni del complesso delle calcarenite organogene quaternarie bianche e gialle, più o meno cementate e stratificate con livelli sabbiosi e/o argilloso sabbiosi. Queste presentano in genere permeabilità variabile in funzione del grado di cementazione, in ogni caso la tendenza è quella di possedere una permeabilità medio alta. Al di sotto del complesso calcarenitico, a profondità variabile, si rinviene il complesso argilloso arenaceo il quale costituisce la soglia di permeabilità per i rilievi calcarei e calcareo

dolomitici retrostanti sostenendo la falda idrica circolante nel sottosuolo della Piana di Palermo.

Il quadro idrogeologico nel suo complesso può suddividersi in quattro grandi unità:

- 1) Unità Idrogeologica Monte Gallo-Monte Castellaccio;
- 2) Unità Idrogeologica Cozzo di Lupo;
- 3) Unità Idrogeologica Sagana-Belmonte Mezzagno;
- 4) Unità Idrogeologica Piana di Palermo.

Quest'ultima è quella che afferisce al sito in progetto.

#### **5.1 Unita Idrogeologica della Piana di Palermo**

La Piana di Palermo rappresenta un'unità idrogeologica alquanto complessa.

I moti di filtrazione, che avvengono nelle calcareniti dell'U.I. Piana di Palermo sono controllati da complesse condizioni idrauliche al contorno e da molteplici fattori, quali la irregolare configurazione morfologica del complesso argilloso arenaceo di base, la presenza di antichi alvei, parzialmente riempiti da materiale di risulta, la prossimità del recapito finale della falda idrica (il mare), i contatti "esterni" dei terreni della Piana con i rilievi carbonatici circostanti ed i contatti "interni" fra le varie associazioni litologiche del complesso calcarenitico.

Dalla letteratura scientifica è possibile, apprendere come, l'andamento delle idroisoipse permette di rilevare che il deflusso idrico sotterraneo si realizza secondo linee di flusso perpendicolari alla linea di costa. La morfologia della superficie piezometrica è modellata su quella del substrato argilloso arenaceo. Il gradiente idraulico, regolare nella porzione meridionale e centrale della piana, diminuisce da ovest verso est con una certa regolarità, eccetto che in alcuni limitati settori dove i suoi alti valori sono riconducibili o a minore permeabilità o a un'area di maggiore alimentazione. Il gradiente idraulico assume valori elevati (4-2 %) nelle aree prossime alle fasce pedemontane mentre assume valori minori (1 %) nelle aree depresse. L'orientazione delle concavità delle idroisoipse, aperte verso valle, indica un acquifero a falda idrica convergente, mentre l'estrema variabilità

del modulo di spaziatura delle curve testimonia un deflusso sotterraneo non uniforme, con portate unitarie e direzioni variabili in vari punti del dominio dell'acquifero. La spaziatura delle idroisopse aumenta nel settore di Romagnolo-Acqua dei Corsari e in quello di Resuttana - Colli, dove le piezometrie sono più basse, probabilmente per la maggiore permeabilità dell'acquifero calcarenitico. Nel settore sud-occidentale le idroisopse presentano le concavità aperte verso valle, area dove si impostano degli assi drenanti e dove fra l'altro ricadono i pozzi ad elevata produttività. I profili piezometrici indicano come vi sia una diminuzione delle portate nel senso del deflusso. Le anomalie strutturali dell'acquifero calcarenitico, portano a variazioni locali del modulo di spaziatura. Il flusso idrico è influenzato dalla variabilità della conducibilità idraulica e dalle morfologie sepolte del substrato argilloso arenaceo e secondariamente da quello delle argille sabbiose e sabbie pleistoceniche.

## 5.2 Complessi Idrogeologici

I terreni individuati sono stati classificati, in base ai valori del coefficiente di permeabilità (k) avente le dimensioni di una velocità (m/s), e suddivisi in complessi idrogeologici (Tav.6 B2\_b Carta Idrogeologica). In particolare nel sito in progetto si riscontrano due complessi principali:

□ [P1] litotipi a permeabilità da "Buona" a "Discreta" con permeabilità (k) compresa tra  $10^{-2}$  e  $10^{-4}$  m/s, per porosità; appartengono a queste classi di permeabilità i seguenti litotipi:

- Sintema Capo Plaia – Depositi Alluvionali – sabbie ghiaiose (b) caratterizzati da una prevalenza di sabbie e ghiaie rispetto ad i limi e da conseguenti elevati valori di permeabilità.

□ [P2] litotipi a permeabilità "Discreta" con permeabilità (k) con valori prossimi a  $10^{-4}$  m/s, per porosità; appartengono a queste classi di permeabilità i seguenti litotipi:

- Sintema di Marsala – Calcareniti di Palermo (MRSd) costituiti da calcareniti e sabbie in terrazzi degradanti debolmente verso il

mare con spessore estremamente variabile. Dal punto di vista idrogeologico rappresenta un acquifero di spessore limitato, quasi sempre costituito da terreni a permeabilità più media. **Unità idrogeologica presente nell'area di stretto interesse**

In Conclusione l'area di stretto interesse, dal punto di vista idrogeologico, è caratterizzata dalla presenza di terreni aventi permeabilità (k) di circa  $1 \times 10^{-4}$  m/s.

Al di sotto si è ipotizzata, la presenza di un acquifero calcarenitico pleistocenico a 13 m di profondità dal p.c. .

## 6. ZONAZIONE SISMOGENETICA E PERICOLOSITÀ SISMICA

Al fine di definire la pericolosità sismica di base è stato eseguito uno studio relativo alla classificazione sismica ed alla zonazione sismogenetica del territorio italiano in linea con quanto prescritto dalle NTC 2018. La finalità di questa indagine è quella di valutare e quantificare la pericolosità sismica di base partendo da valori attribuiti al territorio nell'ambito dei lavori per la redazione della mappa di pericolosità sismica dell'INGV (OPCM 20.03.2003 n.3274).

Dopo l'approvazione da parte della Commissione Grandi Rischi del Dipartimento della Protezione Civile nella seduta del 6 aprile 2004, la mappa MPS04 (fig. 6.1) è diventata ufficialmente la mappa di riferimento per il territorio nazionale con l'emanazione dell'Ordinanza PCM 3519/2006 (G.U. n.105 dell'11 maggio 2006), mentre la redazione dell'ultima cartografia ufficiale (Carta ZSg) (fig.6.2) edita dall'INGV ha permesso la conseguente attribuzione di valori relativi alle specifiche degli eventi sismici attesi (Tab.6.1).

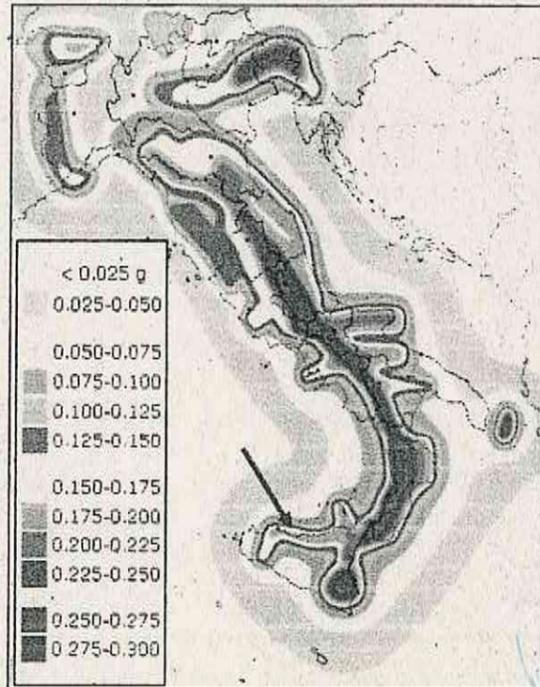


Fig.6.1 - Carta della pericolosità sismica MPS04 del territorio nazionale elaborata dall'INGV. I colori non sono significativi. Con la freccia è indicata la zona dove ricade l'area in esame.

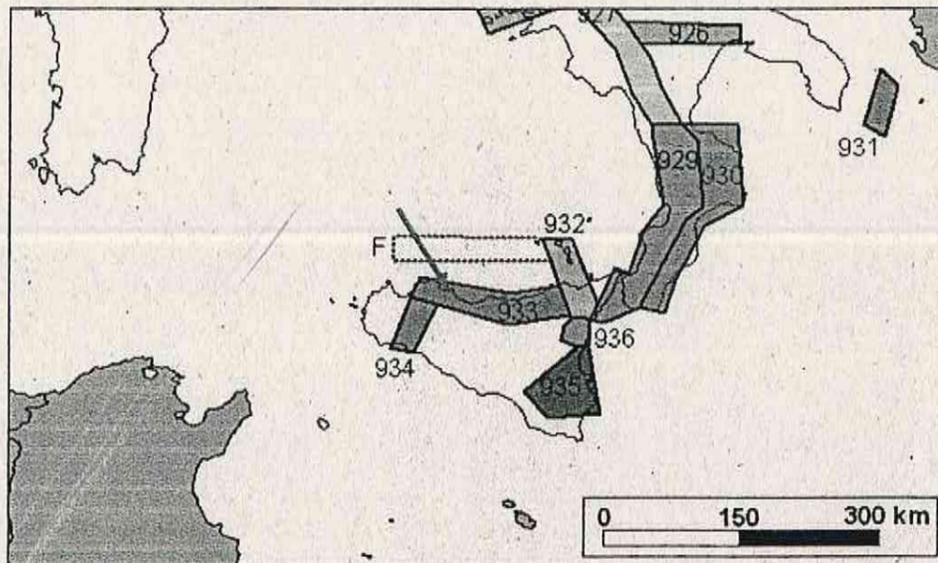


Fig. 6.2 - Carta della zonazione sismogenetica ZSg del territorio nazionale elaborata dall'INGV. I colori non sono significativi. Con la freccia è indicata la zona dove ricade l'area in esame.

Zona	Numero di eventi Md>2.0	Numero di eventi Md>2.5	Numero di eventi Md>3.0	Magnitudo massima (Md)	Classe di profondità (km)	Profondità efficace (km)
932	277	194	55	4.3	12-20	13
933	413	162	44	4.4	8-12	10
934	8	6	3	3.7	8-12	10

Tab. 6.1 – Tabella riportante i valori attribuiti ad ogni singola zona individuata nell'ambito della carta ZSg dell'INGV.

In conclusione, in seguito ai dati in possesso ed alle cartografie ufficiali, si può asserire che per l'area in esame, la Magnitudo Massima Attesa, stando alle tabelle allegata alla carta ZSg è di Md 4.4. Per quanto riguarda il Rischio Sismico MPS04, l'area ricade in zona avente accelerazione massima del suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli rigidi compresa tra 0.175 e 0.200.

Non esistono particolari problematiche sismiche che possono provocare fenomeni di amplificazione, liquefazione, cedimenti ed instabilità, tali da innescare scenari di pericolosità sismica potenziale.

Nell'ambito dell'elenco delle zone sismiche redatto dalla regione (DGR n. 408 del 19/12/2003) come adempimento alle vigenti norme in ambito nazionale (OPCM n.3274 del 20/03/2003) il comune di Palermo (PA), è stato dichiarato Zona Sismica di tipo 2.

Provincia	Comune	Cat. Ai sensi dei decreti fino al 1984	Classificazione Sismica OPCM n. 3274/2003	Nuova classificazione sismica reg. Siciliana Del. N. 408 del 19/12/2003
Palermo	Palermo	II	2	2

Tab. 6.2– Tabella relativa alla classificazione sismica del territorio siciliano.

Al fine di individuare i parametri che caratterizzano la pericolosità sismica (ai sensi del D.M. 17/01/2018) si è condotto uno studio preliminare sulla base di dati esistenti (tabelle in appendice alle NTC) ed accessibili online ([www.stsweb.it](http://www.stsweb.it) [www.ingv.it](http://www.ingv.it)), oltre alla cartografia redatta dalla Regione Siciliana relativa alla classificazione sismica dei comuni.

## 6.1 Caratterizzazione delle azioni sismiche

L'entrata in vigore dell'Ordinanza OPCM n. 3274 del 20/03/2003 ha determinato una suddivisione del territorio nazionale in aree omogenee da un punto di vista del rischio sismico e perimetrate, sulla base della presenza/assenza, di aree sismogenetiche attive. Sono stati così individuati 10751 nodi di riferimento. Ad ogni nodo è associato un valore di accelerazione massima attesa al suolo per un determinato periodo di ritorno.

La forma e intensità dello spettro di risposta di progetto sono funzione di tre parametri, che cambiano da sito a sito:

- **ag** : accelerazione orizzontale massima al sito;
- **F<sub>o</sub>** : valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- **T\*C**: periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

L'entità di questi tre parametri determina lo spettro di risposta e, conseguentemente, l'entità delle forze esercitate sugli edifici.

Gli effetti dovuti al tipo di sottosuolo, alla stratigrafia, alla tettonica ed alla topografia, già indagati precedentemente in questo studio, saranno considerati nella costruzione del modello geologico.

Per la costruzione dei grafici e per il calcolo dei parametri di pericolosità sismica si è utilizzato il software tecnico-scientifico freeware "SISMO GIS" che, grazie ad un database statistico, ai dati sugli edifici e sul terreno ed ai dati sulla struttura, permette di ricavare alcuni valori utili al fine di quantificare i suddetti parametri. In conclusione, considerando una vita nominale dell'opera pari a 50 anni con classe d'uso III, si sono ottenuti i risultati di seguito riportati e riassunti in una tabella (Tab.6.1.1).

**Sito:** Via Buon Riposo, 90100 Palermo PA –

**Coordinate sito (Datum - ED50):** Longitudine = 13.374065°; Latitudine = 38.100978°;

**Altitudine** = 18.00 metri s.l.m.

**Siti di riferimento**

Sito 1	ID: 45397	Lat: 38,0849	Lon: 13,3641	Distanza: 2131,426
Sito 2	ID: 45398	Lat: 38,0849	Lon: 13,4275	Distanza: 4976,392
Sito 3	ID: 45176	Lat: 38,1349	Lon: 13,4274	Distanza: 5870,931
Sito 4	ID: 45175	Lat: 38,1349	Lon: 13,3640	Distanza: 3775,254

Valori dei parametri  $a_g$ ,  $F_o$ ,  $T_c^*$  per i periodi di ritorno TR associati a ciascun Stato Limite:

Stato Limite	TR [anni]	$a_g$ [g]	$F_o$	$T_c^*$ [s]
SLO	30	0.0440	2.338	0.230
SLD	50	0.061	2.338	0.251
SLV	475	0.177	2.377	0.291
SLC	975	0.229	2.423	0.305

Tab. 6.1.1– Tabella relativa ai valori di: Tempi di ritorno (TR); parametri spettrali relativi alla accelerazione orizzontale massima al sito ( $a_g$ ) Valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale ( $F_o$ ) e periodo di inizio del tratto di velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale ( $T_c^*$ ); associati allo stato limite Operatività (SLO); Danno (SLD); Salvaguardia Vita (SLV); Prevenzione Collasso (SLC).

I valori di  $a_g$  così ottenuti devono essere corretti in funzione della tipologia di suolo su cui insiste l'area (suolo tipo A,B,C,D,E) e le condizioni morfologiche (suolo pianeggiante, pendio variamente inclinato, cresta) al fine di costituire un parametro di input valido per la costruzione del modello geologico.

## 6.2 Indagine di sismica tromografica

Le considerazioni riportate di seguito sono il risultato di un'indagine di sismica passiva attraverso analisi realizzata con sismografo triassiale con sensori a 4,5 Hz della SARA electronic instruments® ai soli fini della determinazione delle caratteristiche elastiche del terreno ottenute dalla analisi spettrale delle

componenti vibrazionali del terreno, ossia attraverso l'analisi dei rumori del terreno.

La campagna d'indagine ha previsto l'esecuzione di un rilevamento su uno spazio temporale ben definito e su una superficie opportunamente predisposta, identificata in planimetria con la sigla Tr1 e Tr2 (TAV. B2a\_2).



Tav. 6.2.1: Planimetria indagine Tromografica.

La presente metodologia ha permesso di evidenziare quantitativamente le geometrie del substrato identificando discontinuità sismiche presenti legate a variazioni litologiche. Dalle tracce sismiche ottenute, attraverso un processo di elaborazione (trasformata in serie di Fourier del segnale sismico, pulitura di disturbi spontanei, ipotesi di modellizzazione inversa) si è individuata la frequenza di risonanza fondamentale del terreno, confrontata successivamente con i corrispondenti spettri di ampiezza dei segnali ai vari sensori al fine di ottenere un modello stratigrafico con relativo valore della velocità sismica delle onde di taglio ( $V_s$ ).

Ai sensi dell'Ordinanza 3274 – Nuova Normativa Antisismica del 20/03/2003 e ss.mm.ee.ii., la definizione delle onde trasversali (S) ha permesso la determinazione del parametro  $V_{s30}$  e la caratterizzazione dei terreni ai sensi della suddetta normativa.

### 6.3 CENNI SULLA TEORIA DELLA TECNICA HVSR

La tecnica HVSR permette in primo luogo di valutare la frequenza di vibrazione naturale di un sito. In seguito, come ulteriore sviluppo, la stima del parametro normativo  $V_{S_{30}}$  attraverso un processo di inversione del problema iniziale. Le ipotesi alla base della tecnica sono: una concentrazione del contenuto in frequenza localizzato maggiormente in quelle basse (tipicamente sotto i 20 Hz); assenza di sorgenti periodiche e/o con contenuto in alte frequenze; le sorgenti di rumore sono uniformemente distribuite intorno alla stazione di registrazione. Se queste sono soddisfatte, la tecnica può essere suddivisa nelle fasi che vengono di seguito illustrate.

- Si esegue una registrazione del rumore ambientale lungo tre direzioni ortogonali tra loro (x,y,z) con una singola stazione. Tale registrazione deve essere effettuata, secondo le indicazioni del progetto SESAME, per una durata non inferiore ai 20 minuti.
- Si esegue un'operazione detta di windowing, in cui le tre tracce registrate vengono suddivise in finestre temporali di prefissata durata. Secondo le indicazioni del succitato progetto SESAME tale dimensione, detta Long Period, deve essere almeno pari ai 20 secondi. Si ottiene così un insieme di finestre "long", che sono sincronizzate fra le tracce. Queste finestre vengono filtrate in base a dei criteri che permettono di individuare l'eventuale presenza di transienti (disturbi temporanei con grandi contributi nelle frequenze alte) o di fenomeni di saturazione.
- Per ciascuna delle finestre rimanenti, quindi ritenute valide, viene valutato lo spettro di Fourier. Quest'ultimo viene sottoposto a tapering e/o lisciamento secondo una delle varie tecniche note in letteratura e ritenute all'uopo idonee.
- Successivamente si prendono in considerazione gli spettri delle finestre relative alle tracce orizzontali in coppia. Ovvero, ogni spettro di una finestra per esempio della direzione X, ha il suo corrispettivo per le

finestre nella direzione Y, vale a dire che sono relative a finestre temporali sincrone. Per ognuna di queste coppie viene eseguita una somma tra le componenti in frequenza secondo un determinato criterio che può essere, ad esempio, una semplice media aritmetica o una somma euclidea. Per ciascuna coppia di cui sopra, esiste lo spettro nella direzione verticale Z, ovvero relativo alla finestra temporale sincrona a quelle della coppia. Ogni componente in frequenza di questo spettro viene usato come denominatore nel rapporto con quello della suddetta coppia. Questo permette quindi di ottenere il ricercato rapporto spettrale H/V per tutti gli intervalli temporali in cui viene suddivisa la registrazione durante l'operazione di windowing. Eseguendo per ciascuna frequenza di tali rapporti spettrali una media sulle varie finestre, si ottiene il rapporto spettrale H/V medio, la cui frequenza di picco (frequenza in cui è localizzato il massimo valore assunto dal rapporto medio stesso) rappresenta la deducibile stima della frequenza naturale di vibrazione del sito.

- L'ulteriore ipotesi che questo rapporto spettrale possa ritenersi una buona approssimazione dell'ellitticità del modo fondamentale della propagazione delle onde di Rayleigh, permette di confrontare questi due al fine di ottenere una stima del profilo stratigrafico. Tale procedura, detta d'inversione, consente di definire il profilo sostanzialmente in termini di spessore e velocità delle onde di taglio. Avendo quindi una stima del profilo della velocità delle onde di taglio, è possibile valutarne il parametro normativo  $V_{S30}$ .

Da questo tipo di rilevazione si otterranno i seguenti risultati:

- la frequenza caratteristica di risonanza del sito un parametro essenziale per un efficace dimensionamento degli edifici in relazione alla risposta sismica locale. Si dovranno, pertanto, scegliere idonee cautele nel concepire strutture che non

presentino analoga frequenza di vibrazione del terreno per evitare il fenomeno della "doppia risonanza" molto pericoloso per la loro stabilità;

- la frequenza fondamentale di risonanza di un edificio, nel caso in cui si proceda alla rilevazione all'interno del predetto, successivamente si potrà porre a confronto con quella caratteristica del sito e, quindi, rendersi, per tempo, conto della presenza di rischio specifico della struttura nell'eventualità di un sisma;

- la velocità media delle onde di taglio  $V_s$ , valutata con un codice di calcolo appropriato. Per l'attendibilità del risultato è indispensabile correlare la stratigrafia per la determinazione della profondità del riflettore identificata nella curva H/V.

Ponendo a raffronto le discontinuità rilevate dalla prova con le note formule che relazionano la velocità sismica di taglio della roccia con la frequenza rilevata dallo strumento di misura e lo spessore della roccia è risalire alla stratigrafia del terreno;

- la stratigrafia del sottosuolo, la ratio che informa la tecnica di che trattasi, in termini di stratigrafia del sottosuolo, è rappresentato dal contrasto d'impedenza tra due strati, inteso come il rapporto tra i prodotti di velocità delle onde sismiche nel mezzo e la densità del mezzo stesso; nello specifico è possibile riconoscere discontinuità geologiche e/o cambiamenti litologici correlabili a variazione di frequenza con la profondità.

#### 6.4 Strumentazione e software utilizzati

Le misure di microtremore ambientale sono state effettuate per mezzo di un sismografo triassiale portatile con digitalizzatori a 24 bit 3 canali e sensori a 4,5 Hz della SARA electronic instruments®, progettato specificamente per l'acquisizione del rumore sismico. Lo strumento (modello SR04 Geobox) è costituito da un monoblocco in alluminio fresato all'interno del quale trovano posto tre sensori elettrodinamici (velocimetri) orientati N-S, E-W e verticalmente, l'elettronica di conversione e sincronizzazione, un ricevitore GPS ed una piccola batteria interna ricaricabile. Lo strumento necessita l'utilizzo di un personal computer per il controllo dello strumento e la registrazione dei dati. I dati sono registrati nel PC

tramite una porta seriale (RS232) e registrati in digitale da un apposito programma della SEISMOWIN® (SEISMOLOG-MT Versione 1.0.36). SEISMOLOG-MT permette di valutare la presenza di segnali di disturbo nei sondaggi di tipo HVSR esaminando il particle motion del segnale dei sensori orizzontali. La funzione FFT dotata di correzione strumentale permette di restituire uno spettro del segnale sia in accelerazione che velocità con una stima assoluta delle ampiezze di segnale alle varie frequenze. Nel caso di valutazione del rumore di fondo del sito, il programma permette la restituzione nel dominio della frequenza del segnale secondo il modello di valutazione di Peterson. La possibilità di esaminare i dettagli della forma d'onda anche nella serie temporale consente di conoscere subito se il funzionamento dei sensori e il loro piazzamento sono ottimali.

SEISMOLOG-MT non esegue alcuna elaborazione sul segnale registrato; questa fase infatti è demandata ad un altro software Easy HVSR della GeoStru SOFTWARE®, creato come risultato dei lavori del protocollo SESAME.

Easy HVSR è un software per l'analisi e l'archiviazione di registrazioni di rumori ambientali nelle tre direzioni ortogonali a stazione singola, secondo la ben nota tecnica di Nakamura.

Permette di leggere le tracce registrate in vari formati di comune impiego negli strumenti tecnologici sul mercato, quali, ad esempio, SEG2, SEGY e DTA.

Dalle registrazioni così importate è possibile compiere un'analisi nel dominio del tempo per verificare l'affidabilità della registrazione stessa, per poi passare all'analisi nel dominio spettrale.

Nella seconda fase si operano le scelte al fine di ottenere risultati attendibili, per poi ottenere la valutazione della frequenza naturale di vibrazione della stratigrafia presente in situ, con una stima dell'andamento del profilo delle velocità delle onde di taglio con la profondità, supportato dall'implementazione di una ricerca automatica delle caratteristiche stratigrafiche, e così la successiva stima del  $V_{s30}$ .

### 6.5 Interpretazione delle misure eseguite

Dalle registrazioni del rumore sismico ambientale in campo libero, per una durata temporale pari a 20 minuti, sono state ricavate le curve H/V, secondo la procedura descritta in Castellaio et al. (2005), utilizzando i seguenti parametri:

- larghezza delle finestre d'analisi 27 s;
- lisciamento secondo finestra triangolare con ampiezza pari al 10% della frequenza centrale;
- rimozione dei transienti sulla serie temporale degli H/V.

Le ragioni per la scelta del lisciamento triangolare al posto del lisciamento Konno e Omachi (1998) proposto dalle linee guida SESAME (2005) risiedono nel fatto che quest'ultimo non dà alcuna differenza statisticamente rilevante rispetto al lisciamento triangolare, pertanto si è deciso di adottare il lisciamento più semplice. Successivamente alle operazioni di lisciamento e rimozione dei transienti, l'interpretazione della curva H/V viene fatta attraverso la comparativa della stessa curva con le curve degli spettri di ampiezza delle componenti verticali e orizzontali. Ogni qualvolta ad un picco sulla curva H/V corrisponde, per lo stesso range di frequenza, una depressione della componente verticale rispetto alle orizzontali nelle curve degli spettri di ampiezza dei segnali si identifica la condizione di individuazione delle discontinuità presenti nel sottosuolo.

#### INTERPRETAZIONE TROMOGRAFICA TR<sub>1</sub>

Nella fattispecie sono state individuati modelli con tre unità sismiche (TR<sub>1</sub>) che verranno di seguito descritti:

- 1) L'utilizzo del codice di calcolo sintetico per il rilievo eseguito ha, in questo caso, evidenziato una discontinuità sismica a circa 12.00 Hz, corrispondente all'intervallo H/V di poco inferiore a 1 ed assimilabile, ad un sismostrato riconducibile ad un areato costituito da terreno di riporto a grana medio fine scarsamente addensato, spesso circa 0,5 mt. con velocità delle onde s pari a 100 m/s.

- 2) Da -0,5 a -27,5 mt. dal p.c., in corrispondenza del picco a 1.80Hz, si riscontra un sismostrato costituito da materiale a grana medio mediamente addensato, caratterizzato da proprietà fisico meccaniche variabili, e da velocità delle onde s pari a 200m/s.
- 3) Infine da -27,5 mt. a oltre 30 mt. dal p.c., si riscontra un sismostrato costituito da materiale a grana media addensato e tenace, caratterizzato da buone proprietà fisico meccaniche, e da velocità delle onde s pari a 400 m/s.

#### INTERPRETAZIONE TROMOGRAFICA TR2

Nella fattispecie sono state individuati modelli con tre unità sismiche (TR2) che verranno di seguito descritti:

- 1) L'utilizzo del codice di calcolo sintetico per il rilievo eseguito ha, in questo caso, evidenziato una discontinuità sismica a circa 12.60 Hz, corrispondente all'intervallo H/V di poco inferiore a 1 ed assimilabile, ad un sismostrato riconducibile ad un areato costituito da terreno di riporto a grana medio fine scarsamente addensato, spesso circa 1,6 mt. con velocità delle onde s pari a 160 m/s.
- 2) Da -1,6 a -31,6 mt. dal p.c., in corrispondenza del picco a 1.70Hz, si riscontra un sismostrato costituito da materiale a grana medio mediamente addensato, caratterizzato da proprietà fisico meccaniche variabili, e da velocità delle onde s pari a 200m/s.
- 3) Infine da -31,6 mt. dal p.c., si riscontra un sismostrato costituito da materiale a grana media addensato e tenace, caratterizzato da buone proprietà fisico meccaniche, e da velocità delle onde s pari a 400 m/s.

La frequenza caratteristica di risonanza media del sito in studio risulta essere 1.325 Hz nel range 0.0 - 15 Hz, pertanto sono da evitare frequenze fondamentali delle opere da realizzare vicine a tali valori.

## 6.6 Modello sismico e stratigrafico locale

Dalla individuazione delle onde di taglio generate in corrispondenza del punto di indagine è stato possibile determinare la velocità di propagazione media di tali onde entro i primi 30 metri di terreno attraversato ( $V_{S30}$ ); successivamente, attraverso questo parametro ed ai sensi della normativa vigente in materia antisismica, Ordinanza 3274 – Nuova Normativa Antisismica del 20/03/2003, richiamata dal DM 17/01/2018, è stato possibile classificare tali terreni. La determinazione dell'andamento dei valori delle onde di taglio entro i primi 30 metri è stata resa possibile dall'interpretazione congiunta del profilo H/V in comparazione con la curva degli spettri di ampiezza. L'individuazione delle discontinuità è infatti resa possibile quando in corrispondenza dei valori di frequenza di risonanza caratteristici nella curva H/V si realizza contestualmente una inversione nella componente verticale dello spettro di ampiezza. Successivamente avendo noti sia lo spessore degli strati che i relativi valori di propagazione delle onde di taglio è stato possibile determinare il valore di  $V_{S30}$  attraverso la seguente espressione:

$$V_{S30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_i}}$$

con:

$h_i$  = Spessore in metri dello strato  $i$ -esimo

$V_i$  = Velocità dell'onda di taglio  $i$ -esima

$N$  = Numero di strati

I modelli interpretativi forniti hanno permesso pertanto di ottenere la seguente stratigrafia con i relativi valori di velocità delle onde S:

### SISMOSTRATIGRAFIA INDAGINE TR<sub>1</sub>

Strato	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso per Unità di Vol. [kN/m <sup>3</sup> ]	Coeff. di Poisson	Velocità onde di taglio [m/s]
1	0	0.5	18	0.35	100
2	0.5	27	18	0.34	200
3	27.5	9	19	0.33	400
4	36.5	1	20	0.3	450

$$V_s(0.0-30.0) = 205.13 \text{ m/s}$$

### SISMOSTRATIGRAFIA INDAGINE TR<sub>2</sub>

Strato	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso per Unità di Vol. [kN/m <sup>3</sup> ]	Coeff. di Poisson	Velocità onde di taglio [m/s]
1	0	1.6	18	0.3	160
2	1.6	30	18	0.3	200
3	31.6	9	18	0.3	400

$$V_s(0.0-30.0) = 197.37 \text{ m/s}$$

Per la determinazione della Categoria del sottosuolo in applicazione delle NTC/2018 (§ 3.2.2) che prevedono un approccio semplificato per la definizione dell'azione sismica di progetto, si è ottenuto che il terreno di fondazione in esame è caratterizzato da una velocità media equivalente  $V_{s30} = 201.25 \text{ m/s}$  e pertanto il sito appartiene alla **Categoria C** (Tab.3.2.II e 3.2.III).

Categoria	Descrizione
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigiri caratterizzati da valori di $V_{s30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 mt.
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti con spessori superiori a 30 mt., caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 mt., caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o terreni a grana fine scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 mt., caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).

## 6.7 INDAGINE DI SISMICA A RIFRAZIONE

### 6.7.1 Metodologia

Le indagini di sismica a rifrazione, consentono di interpretare la stratigrafia del sottosuolo attraverso il principio fisico del fenomeno della rifrazione totale di un'onda sismica che incide su una discontinuità, individuata fra due corpi aventi proprietà meccaniche diverse (orizzonte rifrattorio). La condizione fondamentale per eseguire studi di sismica a rifrazione è quella per cui la successione di strati da investigare sia caratterizzata da velocità sismiche crescenti all'aumentare della profondità. In questo modo si possono valutare fino a 4 o 5 orizzonti rifrattori differenti. Le prove si basano sulla misura dei tempi di percorso delle onde elastiche

per le quali, ipotizzando le superfici di discontinuità estese rispetto alla lunghezza d'onda  $\lambda$ , comunque, con deboli curvature, i fronti d'onda sono rappresentati mediante i relativi raggi sismici. L'analisi si avvale, poi, del principio di Fermat e della legge di Snell. Il principio di Fermat stabilisce che il raggio sismico percorre la distanza tra sorgente e rilevatore seguendo il percorso per cui il tempo di tragitto è minimo. Per tale principio, dato un piano che separa due mezzi con caratteristiche elastiche diverse, il raggio sismico è quello che si estende lungo un piano perpendicolare alla discontinuità contenente sia la sorgente che il ricevitore.

La legge di Snell è una formula che descrive le modalità di rifrazione di un raggio sismico nella transizione tra due mezzi caratterizzati da diversa velocità di propagazione delle onde  $\lambda$ , equivalentemente, da diversi indici di rifrazione. L'angolo formato tra la superficie di discontinuità e il raggio sismico è chiamato angolo di incidenza  $\theta_i$  mentre quello formato tra il raggio rifratto e la superficie normale è detto angolo di rifrazione  $\theta_r$ . La formulazione matematica è:

$$v_2 \sin \theta_i = v_1 \sin \theta_r$$

Dove  $v_1$  e  $v_2$  sono le velocità dei due mezzi separati dalla superficie di discontinuità. Per  $v_1 > v_2$  si ha che  $\theta_i > \theta_r$  e la sismica a rifrazione non è attuabile poiché il raggio rifratto andrebbe ad inclinarsi verso il basso. Per  $v_1 < v_2$  si ha che  $\theta_i < \theta_r$  ed esiste un angolo limite di incidenza per cui  $\theta_r = 90^\circ$  ed il raggio rifratto viaggia parallelamente alla superficie di discontinuità. L'espressione che definisce l'angolo limite è:

$$\theta_i = \arcsin(v_1 / v_2)$$

Il modo più semplice per analizzare i dati di rifrazione è quello di costruire un diagramma tempi-distanze in cui l'origine del sistema di riferimento è posto in corrispondenza della sorgente di generazione delle onde elastiche. In ascissa sono rappresentate le posizioni dei geofoni ed in ordinata i tempi dei primi arrivi. Ai geofoni più vicini alla sorgente giungono per primi gli impulsi che hanno seguito il percorso diretto in un tempo  $T$  dato dalla relazione:

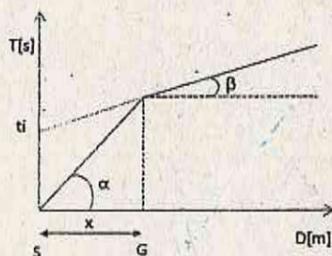
$$T = x_i / V_1$$

dove  $x_i$  è la distanza tra il punto di energizzazione e il punto di rilevazione.

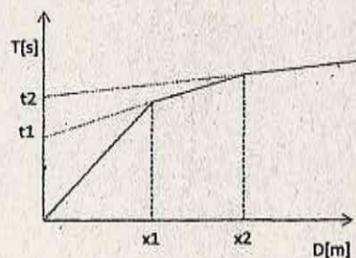
L'equazione precedente rappresenta una retta che passa per l'origine degli assi tempi-distanze e il suo coefficiente angolare consente di calcolare la velocità  $V_1$  del primo mezzo come:

$$V_1 = 1 / \tan \alpha$$

I tempi di arrivo dei raggi rifratti, nel diagramma tempi-distanze, si dispongono secondo una retta che avrà pendenza minore di quella delle onde dirette.



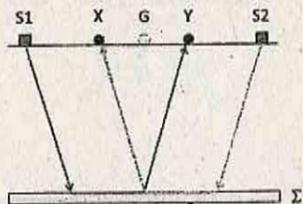
La curva tempi-distanze tende ad avere un andamento regolare secondo una spezzata i cui vertici sono i chiamati *punti di ginocchio* e rappresentano, fisicamente, la condizione in cui si verifica l'arrivo contemporaneo delle onde dirette e rifratte. Per ciascuno di segmenti individuati si determina, dunque, il tempo di ritardo  $t_i$  che rappresenta la differenza tra il tempo che il raggio sismico impiega a percorrere un tratto alla velocità propria dello strato in cui si trasmette ed il tempo che impiegherebbe a viaggiare lungo la componente orizzontale di quel tratto alla massima velocità raggiunta in tutto il percorso di rifrazione. Graficamente il tempo di ritardo è dato dall'intersezione della retta che comprende un segmento della curva tempi-distanze con l'asse dei tempi.



Infine, dalla conoscenza dei tempi  $t_i$  è possibile ricavare gli spessori dei rifrattori mediante la relazione:

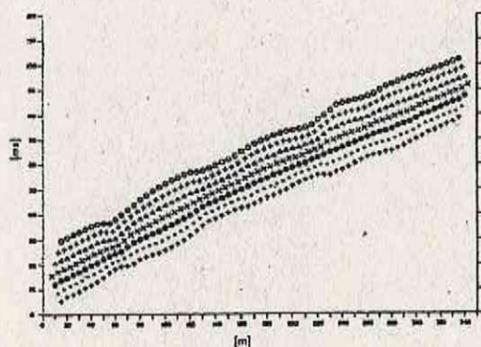
$$h_{(i-1)} = \frac{V_{(i-1)}V_i}{2\sqrt{V_i^2 - V_{(i-1)}^2}} \left( t_i - \frac{2h_1\sqrt{V_i^2 - V_1^2}}{V_1V_i} - \dots - \frac{2h_{(i-2)}\sqrt{V_i^2 - V_{(i-2)}^2}}{V_1V_{(i-2)}} \right)$$

In situazioni morfologiche complesse può essere utilizzato come metodo di elaborazione il Metodo Reciproco Generalizzato (Generalized Reciprocal Method) discusso da Palmer nel 1980. Il metodo è basato sulla ricerca di una distanza intergeofonica virtuale XY tale che i raggi sismici che partono da punti di energizzazione simmetrici rispetto allo stendimento, arrivino al geofono posto in posizione X e a quello posto in posizione Y provenendo da un medesimo punto del rifratore.



Il primo passo operativo è quello di costruire un diagramma tempi-distanze individuando nei sismogrammi ottenuti dai dati di campagna i primi arrivi delle onde sismiche. Per determinare la distanza XY ottimale è necessario considerare più punti di energizzazione tanto agli estremi quanto all'interno dello stendimento. Ciò permette di individuare con maggiore accuratezza i tempi relativi ad un medesimo rifratore utili a caratterizzare le dromocrone, fondamentali all'interpretazione. Nelle interpretazioni multi strato, la generazione delle dromocrone può sfruttare tecniche di phantoming per sopperire alla mancanza dei dati per alcuni rifrattori. Dalla costruzione delle dromocrone è possibile determinare **la funzione velocità** secondo l'equazione:

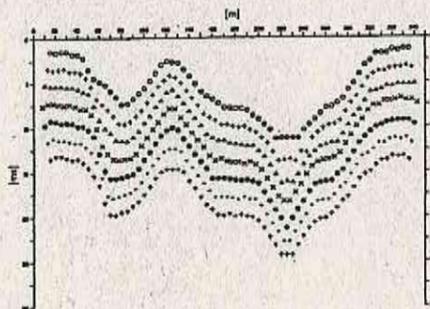
$$T_v = \frac{T_{S_1Y} - T_{S_2X} + T_{S_1S_2}}{2}$$



dove  $TS_{1Y}$  e  $TS_{2X}$  sono i tempi di percorrenza dei raggi sismici per giungere, rispettivamente, dalla sorgente  $S_1$  ad  $X$  e dalla sorgente  $S_2$  ad  $Y$  mentre  $TS_{1S_2}$  è il tempo di tragitto tra i due punti di scoppio  $S_1$  ed  $S_2$ , esternamente simmetrici rispetto allo stendimento.  $T_v$  è il tempo calcolato su un geofono  $G$  posto tra  $X$  ed  $Y$ , non necessariamente coincidente con la posizione di un geofono dello stendimento. Il calcolo della funzione  $T_v$  viene eseguito per ogni valore di  $XY$  compreso tra zero e metà dello stendimento con variazione pari alla distanza reale tra i geofoni dello stendimento. La migliore retta di regressione delle funzioni velocità ottenute, permette di determinare l' $XY$  ottimo e la velocità del rifrattore che è ricavata dal coefficiente angolare. Per mezzo della **funzione tempo-profondità** è possibile trovare la profondità del rifrattore, espressa in unità di tempo. L'espressione di tale funzione è:

$$T_G = \frac{T_{S_1Y} + T_{S_2X} - \left( T_{S_1S_2} + \frac{XY}{V_n} \right)}{2}$$

Dove  $V_n$  è la velocità del rifrattore.



Analogamente a quanto avviene per la funzione velocità si determinano diverse funzioni tempo-profondità per l'insieme dei valori XY di studio. Tra le funzioni trovate, quella che presenta la maggiore articolazione compete al valore di XY ottimo.

Infine, è possibile determinare lo spessore del rifratore in corrispondenza delle posizioni dei geofoni G mediante la relazione:

$$h = T_G \sqrt{\frac{V_n XY}{2T_G}}$$

h rappresenta la profondità minima dal geofono G dunque la morfologia del rifratore è definita dall'involuppo delle semicirconferenze di raggio h.

Uno dei principali vantaggi del G.R.M. è che il fattore di conversione della profondità è relativamente insensibile alle inclinazioni fino a circa 20°

#### 6.7.2 Strumentazione Utilizzata Indagine di sismica a Rifrazione

Per la ricostruzione del modello geofisico del sito oggetto di studio, sono state eseguite n°2 indagini di sismica a rifrazione con la tecnica delle onde di volume (longitudinali P).

L'attrezzatura e la strumentazione utilizzata è costituita da

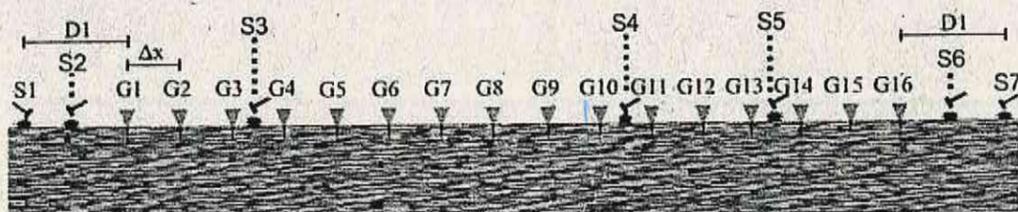
- **sistema di energizzazione delle onde P:** la sorgente è costituita da una mazza del peso di 8 kg battente verticalmente su una piastra circolare in pvc del diametro di 25 cm posta direttamente sul piano campagna per la generazione prevalentemente di onde P e secondariamente di onde SH, in grado di generare onde elastiche ad alta frequenza ricche di energia, con forme d'onda ripetibili e direzionali;
- **un sistema di trigger:** consiste in un geofono indipendente posto a fianco della piastra di battuta, che da il segnale di start al sismografo;
- **un sistema di ricezione:** costituito da 16 geofoni verticali con frequenza propria a 4,5 Hz, collegati a 16 canali dotati di memoria e

convertitori a/d in grado di digitalizzare il segnale già in corrispondenza del cavo (sismografo Do.Re.Mi della Sara); i canali a sua volta sono collegati ad un'unità di testa collegata ad un personal computer portatile.

### 6.7.3 Geometria dello stendimento sismico

Lungo gli stendimenti sismici Rz1 e Rz2, i geofoni sono stati disposti con distanza intergeofonica di 3 metri.

Per ottenere una traccia con un buon rapporto segnale/rumore, sono state eseguite due energizzazioni a 6 m e a 4,5 m dal primo e dall'ultimo geofono (S1 e S1a e S2 e S2a in Fig. 6.7.3.1).



$\Delta x$  : distanza intergeofonica (3 m)

D1 : distanza tra il primo ed ultimo geofono e la prima e la seconda energizzazione (6 m)

Fig. 6.7.3.1: Geometria degli stendimenti sismici Rz1 e Rz2.

Tale procedura di spostamento della sorgente di una distanza pari alla metà della distanza tra i geofoni ha consentito, dopo uno stacking delle due tracce, di ottenere uno stendimento sismico a 32 canali con lunghezza di 51 m. Infine sono state eseguite altre tre energizzazioni tra il 3 e il 4 geofono, tra il 10 e l'11 geofono e tra il 13 e il 14 geofono. Per l'ubicazione su stralcio planimetrico vedi la carta delle indagini Tav.2 B2a.

### 6.7.4 Interpretazioni delle Indagini Sismiche a Rifrazione

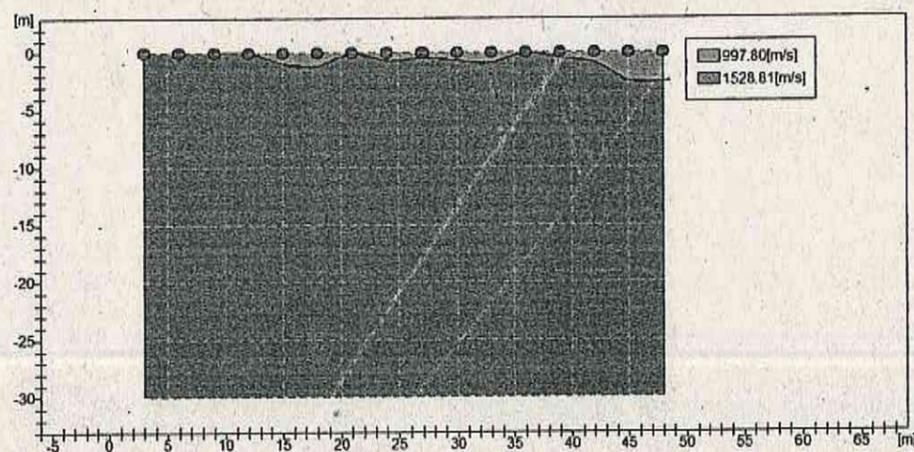
La metodologia utilizzata nella prospezione di sismica a rifrazione consta di diverse fasi di elaborazione. Preliminarmente, sono stati individuati nei sismogrammi i primi arrivi corrispondenti alle onde dirette e rifratte. Dopo aver rilevato i tempi dei primi arrivi sono state tracciate le dromocrone nel diagramma distanza-tempo. Per la ricostruzione del modello sismostratigrafico

è stato utilizzato il software Easy Refract, adottando il Metodo Reciproco Generalizzato (GRM), che si basa sulla ricerca, nel diagramma tempi-distanze, di una distanza intergeofonica XY ottimale; tale che i raggi generati in punti opposti arrivino al geofono posto in X e quello posto in Y a partire dallo stesso punto del rifrattore.

#### Prospezione sismica a rifrazione Rz1

Il modello di terreno ricavato dal processo di elaborazione della sismica a rifrazione Rz1 è caratterizzato da due sismostrati con leggere differenze nella velocità delle onde P, separati da una discontinuità sismostratigrafica con geometria e spessore irregolare debolmente inclinata verso la fine dello stendimento (Fig. 6.7.4.1).

Fig. 6.7.4.1: Sismo-stratigrafia indagine Rz1.

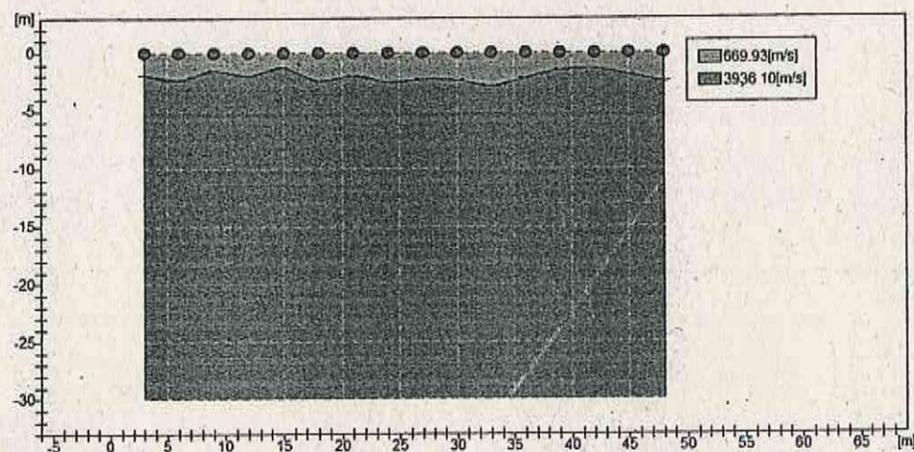


Le velocità delle onde P rilevate sono le seguenti: 997,80 m/s nel primo sismostrato e 1528,81 m/s nel secondo sismostrato. Il primo sismostrato ha uno spessore di circa 2 m nella parte finale dello stendimento e tende leggermente ad assottigliarsi verso l'inizio dello stesso.

### Prospezione sismica a rifrazione Rzz

Il modello di terreno ricavato dal processo di elaborazione della sismica a rifrazione Rzz è caratterizzato da due sismostrati con marcate differenze nella velocità delle onde P, separati da una discontinuità sismostratigrafica con geometria e spessore piuttosto regolare (Fig. 6.6.3.2).

Fig. 6.6.3.2: Sismo-stratigrafia indagine Rzz.



Le velocità delle onde P rilevate sono le seguenti: 669,93 m/s nel primo sismostrato e 3936,10 m/s nel secondo sismostrato. Il primo sismostrato presenta uno spessore variabile tra 1,2 metri e circa 2 metri.

**In Conclusione**, correlando la sismostratigrafia con la stratigrafia del sito, ricavata dalla bibliografia geologica ufficiale e dai rilievi superficiali, si può ipotizzare che:

**Dal punto di vista sismo-stratigrafico** è possibile ipotizzare una correlazione fra la sismo-stratigrafia e la litostratigrafia, occorre comunque rilevare che quasi mai un sismo strato corrisponde perfettamente con un litostrato. Tale ipotesi è inclusa nella Sintesi dei risultati riportata di seguito:

SINTESI DEI RISULTATI			
SISMOSTRATO	PROFONDITA' (m dal p.c.)	Vs (m/s)	IPOTESI DI CORRELAZIONE CON UNITA' GEO-LITOLOGICHE
1	Da 0 a 1.6-2.4	100-160	Materiale di Riporto
2	Da 1.6-2.4 a 27-31	280-290	Alternanza di calcareniti e sabbie- sabbie limose.

Tab. 6.6.1 – Sintesi dei risultati relativi alle indagini sismiche tromografiche.

Per quanto riguarda il valore del  $V_{s30}$ , dall'analisi delle indagini sismiche, effettuate considerando la stratigrafia sismica fino a 30 metri, è possibile attribuire, in riferimento alla tab. 3.2.11 del paragrafo 3.2.2 delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni approvate con D.M. del 17.01.2018, la categoria sottosuolo "C",

## 7. CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEI TERRENI

In questo capitolo vengono analizzate le caratteristiche fisico-meccaniche della litofacies che caratterizzano il sedime dell'area oggetto di studio.

Al fine di rendere altamente attendibili le valutazioni geotecniche, riguardanti l'area oggetto di studio, si è fatto riferimento ai risultati di n°4 prove penetrometriche dinamiche effettuate dalla Geoproject s.r.l. all'interno del sito in progetto, in modo tale da avere una visione geologico-stratigrafica di dettaglio dell'area, e di ricostruire la locale successione stratigrafica. Grazie a queste indagini *in situ*, ai rilievi di superficie ed alla ricerca bibliografica, è stato possibile fornire indicazioni dettagliate in merito alla stratigrafia ed alle caratteristiche geomeccaniche delle unità geo-litologiche. I sondaggi eseguiti (Vedi carte delle indagini B2a Tav.2) sono stati ubicati in modo da consentire una ricostruzione quanto più dettagliata e veritiera del sottosuolo. La loro ubicazione, seppur dettata in parte, dalla logistica dei luoghi, ha consentito anche la possibilità di ricostruire le superfici riscontrate nei singoli sondaggi mediante interpolazione delle quote a mezzo di un'analisi software. Le prove sono state effettuate a mezzo di un penetrometro di tipo medio (DPM) corredato da massa battente del peso di 30 kg.

Di seguito si riporta una sintesi dei parametri geotecnici ricavati. La relazione sulle indagini è riportata in allegato IV. In base a quanto emerso dalle indagini realizzate e dalla ricerca bibliografica nel sito in esame si è potuto rilevare la presenza di materiale di riporto con spessore variabile; questi ultimi ricoprono i depositi calcarenitici quaternari (Calcareniti di Palermo) aventi generalmente caratteristiche variabili e comprese tra quelle delle sabbie (variamente addensate) e le calcareniti (variamente cementate). La presenza di questa variabilità litologica, è una caratteristica nota ed ampiamente documentata nella letteratura geologica ed è imputabile alla variabilità ed alla ciclicità degli accadimenti climatici, tettonici e glacio-eustatici avvenuti durante il Quaternario. Al fine di fornire indicazioni riepilogative di tipo geologico-tecnico generale, sono stati stimati i parametri geotecnici medi indicativi dei terreni presenti nell'area oggetto di studio. Le unità sono state accorpate in gruppi litotecnicamente simili, indipendentemente dalla posizione stratigrafica.

Le prove penetrometriche realizzate, che hanno consentito la ricostruzione di dettaglio dei primi metri di stratigrafia, unitamente ai dati dei sondaggi geognostici realizzati per la metropolitana leggera, che hanno consentito di estendere la ricostruzione stratigrafica fino ad una profondità di 20m, lo scrivente può sintetizzare la seguente successione stratigrafica:

Tab. 7.1 – Attribuzione dei parametri geotecnici indicativi al terreno di fondazione. Dove  $c$  è la coesione interna;  $\phi'$  è l'angolo di attrito interno e  $\gamma$  è il peso dell'unità di volume.

ORIZZONTE	PROFONDITA' (m dal p.c.)	TIPOLOGIA	PARAMETRI GEOTECNICI MEDI INDICATIVI
Orizzonte A	Da 1,6 a 2,4 m	Terreno di Riporto	$\gamma = 1.6 - 1.7 \text{ t/m}^3$ $\phi = 21^\circ - 23^\circ$ $c' = 0 \text{ kPa}$
Orizzonte B	Da 1,6÷2,4 ad almeno 20 m di profondità	Calcareniti e sabbie variamente addensate	$\gamma = 1.8 - 1.9 \text{ t/m}^3$ $\phi' = 26^\circ - 28^\circ$ $c' = 0 \text{ kPa}$

In relazione all'Allegato "D" della Circolare n. 3/ DRA del 20 giugno 2014" (Guida schematica alla definizione di unità litotecniche del "substrato" e della "copertura") si è effettuata una suddivisione in unità litotecniche.

Nell'area sono presenti le seguenti unità litotecniche:

- **UNITA' LITOTECNICA 1:** DEPOSITI ALLUVIONALI (RECENTE ED ATTUALE): sabbia limosa o debolmente limosa con ghiaia poligenica arrotondata, limo sabbioso grigio, ghiaia poligenica a spigoli arrotondati centimetrica e decimetrica in matrice sabbioso-limosa, in livelli lenticolari embriciati; nel tratto finale del F. Oreto, intensamente urbanizzato, sono ricoperti da terreni di riporto. Nell'ambito del presente studio tali depositi vengono assimilati alla **Unità litotecnica G2c** "sabbie limose e limi sabbiosi inglobanti frammenti spigolosi o arrotondati".
  
- **UNITA' LITOTECNICA 2:** depositi afferenti alla sub - unità Calcareniti di Palermo, costituiti da calcareniti e sabbie da moderatamente addensate a mediamente cementate. La stratificazione è sub-orizzontale, solo localmente debolmente inclinata verso nord (circa 2°-3°). Tali unità costituiscono il **substrato** e, nell'ambito del presente studio vengono assimilate alla categoria **G3 "sabbie cementate"** con grado di cementazione medio (**G3.2 - medio grado di cementazione**) e cemento (dove presente) di tipo calcitico.

Una sintesi di quanto sopra esposto è riportata nella cartografia allegata al presente lavoro (TAV\_B2b\_4. Carta litotecnica).

## 8. PRESCRIZIONI E INDICAZIONI ESECUTIVE (B2C)

Sulla base di tutte le informazioni e le analisi di dettaglio svolte, è stata realizzata una carta di sintesi (Tav. 7 B2\_c) a carattere esecutivo, che raccoglie tutte quelle indicazioni necessarie affinché le pericolosità geologiche, qualora individuate, per le singole aree di trasformazione urbanistica, siano affrontate correttamente nelle soluzioni progettuali.

In Conclusione la lettura della cartografia di analisi evidenzia la totale mancanza di zone a pericolosità geologica, geomorfologica e sismica.

## 9. CONCLUSIONI

Lo studio ha avuto come scopo la definizione di tutti gli aspetti geologici, geomorfologici ed idrogeologici relativi all'area oggetto di rideterminazione urbanistica, così come descritto nel capitolo 2, e ad un intorno significativo, ottenuta mediante un'attenta ricerca bibliografica, rilievi sul posto e indagini geognostiche e geofisiche realizzate in situ. Particolare attenzione è stata posta agli aspetti legati al rischio ed alla pericolosità geomorfologica, idraulica e sismica. Pertanto, sulla base del lavoro svolto e sulla base dei dati a disposizione, lo scrivente può asserire che:

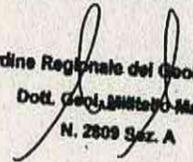
- L'area è caratterizzata dalla presenza di terreni afferenti alla sub-unità delle Calcareniti di Palermo. Questi risultano ricoperti da una coltre di terreno di riporto di spessore variabile;
- Dalle indagini effettuate e dalla bibliografia esistente non si rileva la presenza di falde idriche superficiali. L'estrapolazione dei dati, ha comunque consentito di ipotizzare la presenza di una falda alla profondità di circa 13 m dal p.c.
- Nell'area oggetto di studio non esistono particolari morfologie (creste rocciose, cocuzzoli, dorsali scarpate, discontinuità stratigrafiche importanti, etc.) dove possono verificarsi localizzazioni dell'energia sismica incidente con conseguente esaltazione dell'ampiezza delle onde;

- Non sono stati riscontrati altresì corpi geologici significativi riferibili a depositi alluvionali e di falde di detrito, dove per effetto della riflessione multipla e di interferenza delle onde sismiche entro il deposito stesso, si possono generare variazioni della risposta sismica locale;
- Non si riscontrano problemi connessi con fenomeni di stabilità di vario tipo, con attivazione e riattivazione di frane potenziali o quiescenti e crolli di massi da pareti rocciose;
- L'area in esame non rientra in quelle interessate da dissesto idrogeologico di cui al decreto A.R.T.A. del 4 luglio 2000 e successive modifiche ed integrazioni;
- Non sono stati rilevati, nell'ambito del fondo esaminato e nelle immediate vicinanze, importanti direttrici tettoniche recenti ed attive, tali da determinare condizioni geologico-strutturali particolarmente sfavorevoli dal punto di vista sismico;
- Non esistono particolari problematiche sismiche che possono provocare fenomeni di amplificazione, liquefazione, cedimenti ed instabilità, tali da innescare scenari di pericolosità sismica potenziale;
- In base alla classificazione dei terreni, prevista dalle Nuove Norme Tecniche Per Le Costruzioni D.M. 17 Gennaio 2018, il tipo di suolo ricade nella categoria sottosuolo "C" con Vs avente valori compresi tra 180 e 360 m/s

Di conseguenza lo scrivente può asserire l'attuabilità della rideterminazione urbanistica di progetto in quanto non comporterà nessuna problematica di natura geologica, geomorfologica, idrogeologica e sismica.

Palermo, Luglio 2019

Dott. Geol. Marcello Militello

  
Ordine Regionale dei Geologi di Sicilia  
Dott. Geol. Militello Marcello  
N. 2809 Sez. A

**STUDIO**

**ALLEGATO I  
CARTOGRAFIE**

**SITO**

**COMUNE DI PALERMO (PA)**

**VISTO**

**OGGETTO**

**RIDETERMINAZIONE URBANISTICA PER DECADENZA VINCOLI ESPROPRIATIVI,  
DI UN AREA IDENTIFICATA IN CATASTO AL FG. 74 PARTICELLA 946, NEL  
COMUNE DI PALERMO.**

**COMMITTENTE**

**OFIM S.p.A**

**DATA**

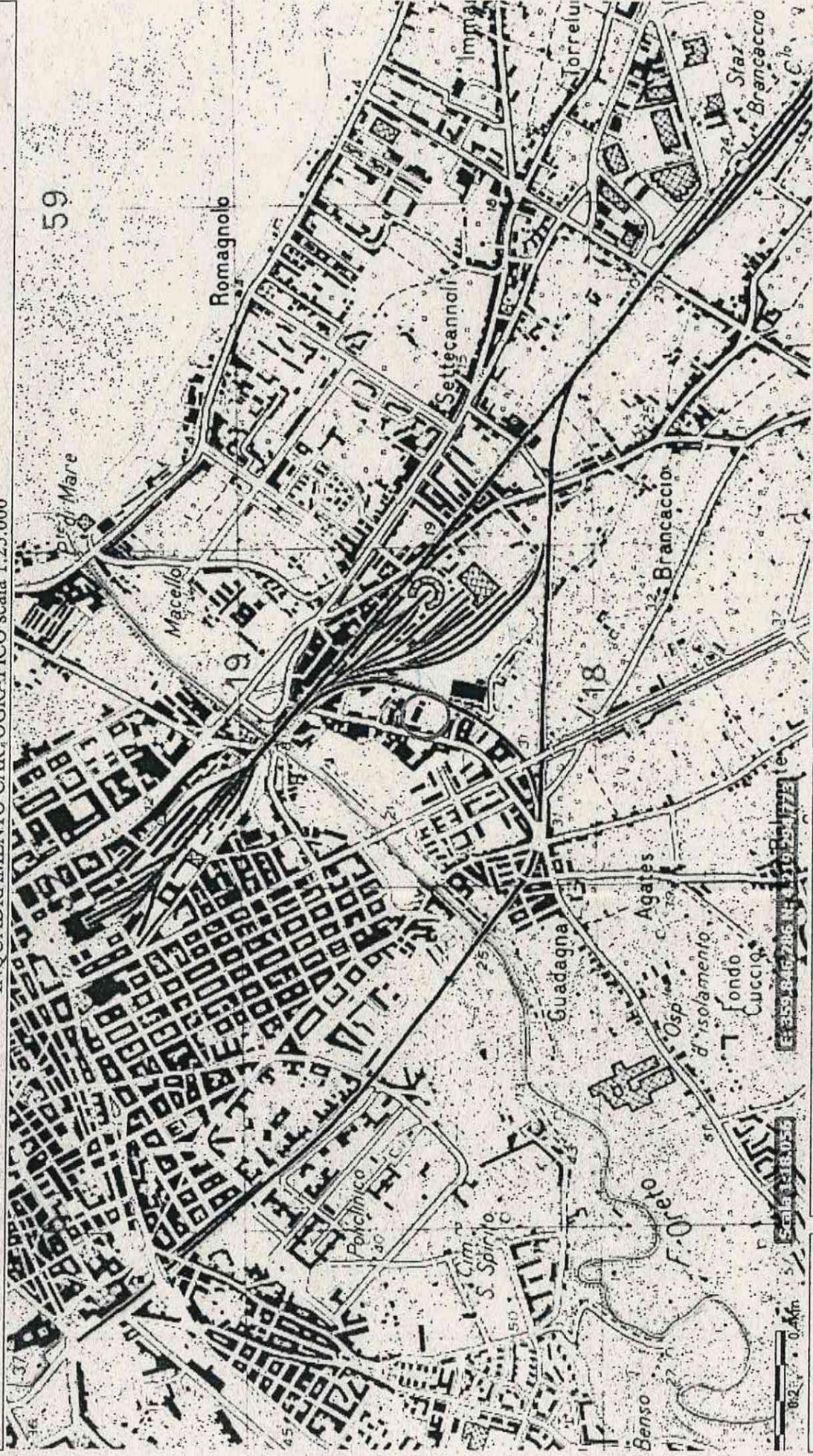
**01/07/2019**

**PROFESSIONISTA**

**Dott. Geologo Marcello Militello**

**Ordine Regionale dei Geologi di Sicilia  
Dott. Geol. Militello Marcello  
N. 2809 Sez. A**

**ALLEGATI**



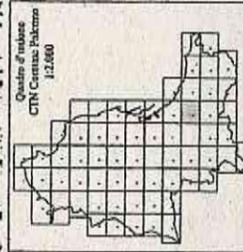
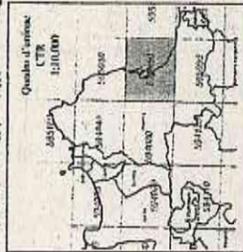
**Legenda**

● Area in esame

1:25.000

CARTA D'ITALIA 1:25.000  
 ITALY 1:25.000  
 FOGLIO N° 249  
 QUADRANTE: II  
 ORIENTAMENTO: NE

I	II
249	
III	IV

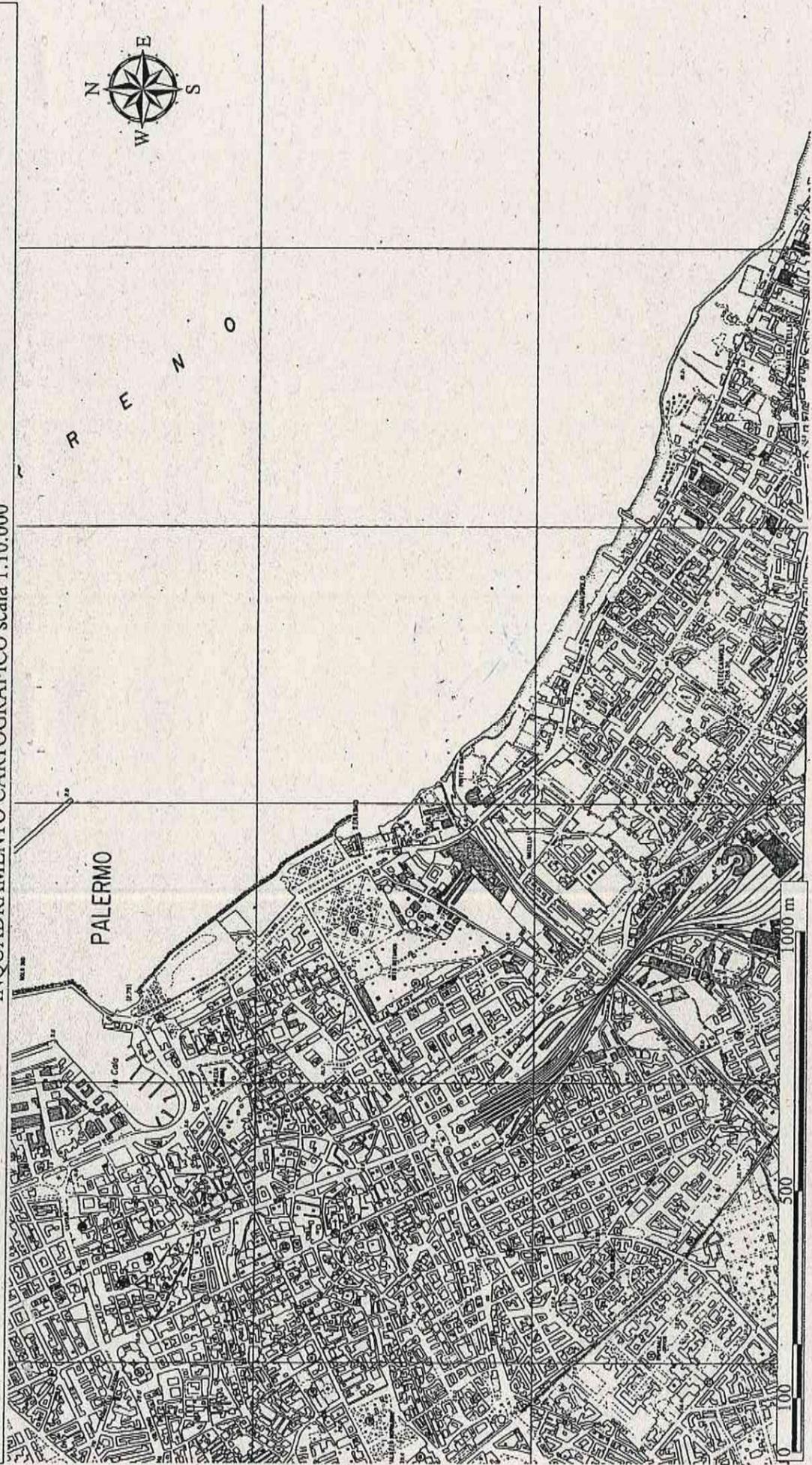


**Fig. 1** Inquadramento cartografico IGM | Formato A4  
 Base topografica: Cartografia IGM in scala 1:25.000 - Fono: IFTS, Scilla

Studio di Geologia ed Ambientale  
 Dott. Geol. Marcello Miltello  
 marcellomiltello@hotmail.com

**IL TECNICO**  
 Dott. Geologo Marcello Miltello  
 marcellomiltello@hotmail.com  
 Mobile 3386978072

INQUADRAMENTO CARTOGRAFICO scala 1:10.000

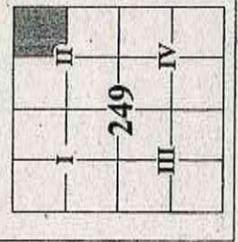


PALERMO



**Legenda**

● Area in esame

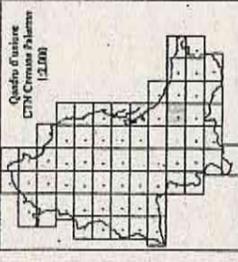


Quadrante d'ubicazione  
CTN 1:25.000

CARTA D'ITALIA 1:25.000  
ITALY 1:25.000  
FOGLIO N° 249  
QUADRANTE: II  
ORIENTAMENTO: NE

Quadrante d'ubicazione  
CTN 1:100.000

Quadrante d'ubicazione  
CTN Corrasse Palermo  
1:25.000

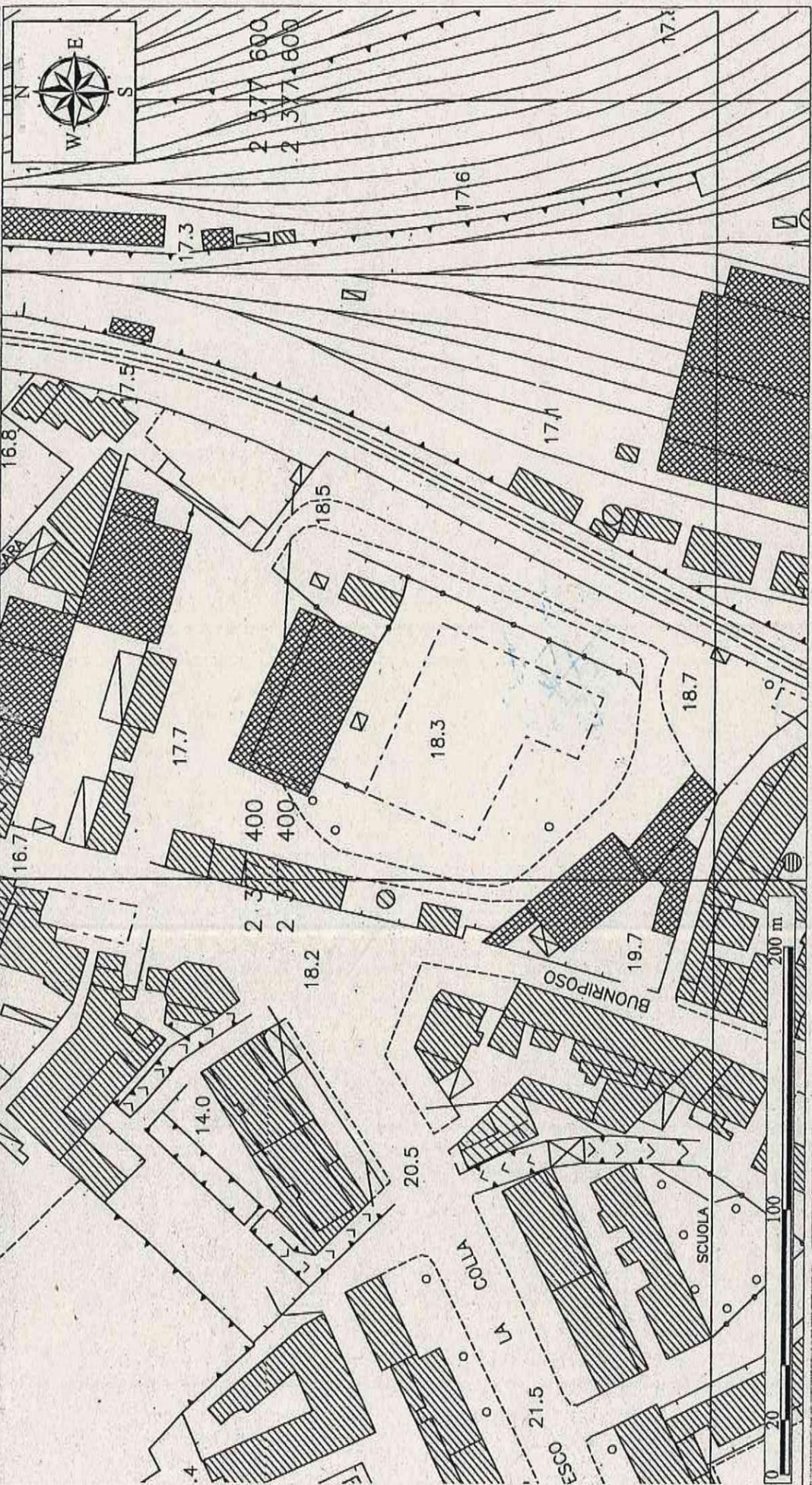


**Fig. 2** Inquadramento cartografico C.T.R. Formato A4  
Base topografica: Cartografia C.T.R. in scala 1:10.000 - Forno SIFR 8/8/88

Studio di Geologia ed Ambientale  
Dott. Geol. Marcello Millicello  
marcellomillicello@boimail.com

**IL TECNICO**  
Dott. Geologo Marcello Millicello  
marcellomillicello@boimail.com  
Mobile 3386978072

INQUADRAMENTO CARTOGRAFICO scala 1:2.000



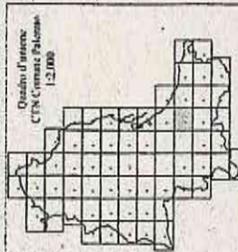
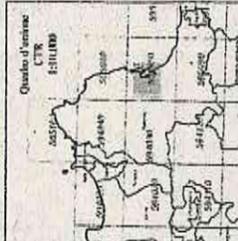
Legenda

○ Area in esame

I	II
249	
III	IV

Carta d'origine  
Carta IGN  
1:25.000

CARTA D'ITALIA 1:25.000  
ITALY 1:25.000  
FOGLIO N° 249  
QUADRANTE: II  
ORIENTAMENTO: NE



**Fig. 3** Inquadramento cartografico CTN | Formato A4  
Linee topografiche: Carta IG 1:25.000 - F. Fogli: Catania di Palermo

Studio di Geologia ed Ambientale  
Dott. Geol. Marcello Miticello  
marcellomiticello@bohmit.com

**IL TECNICO**  
Dott. Geologo Marcello Miticello  
marcellomiticello@bohmit.com  
Mobile 3386978072

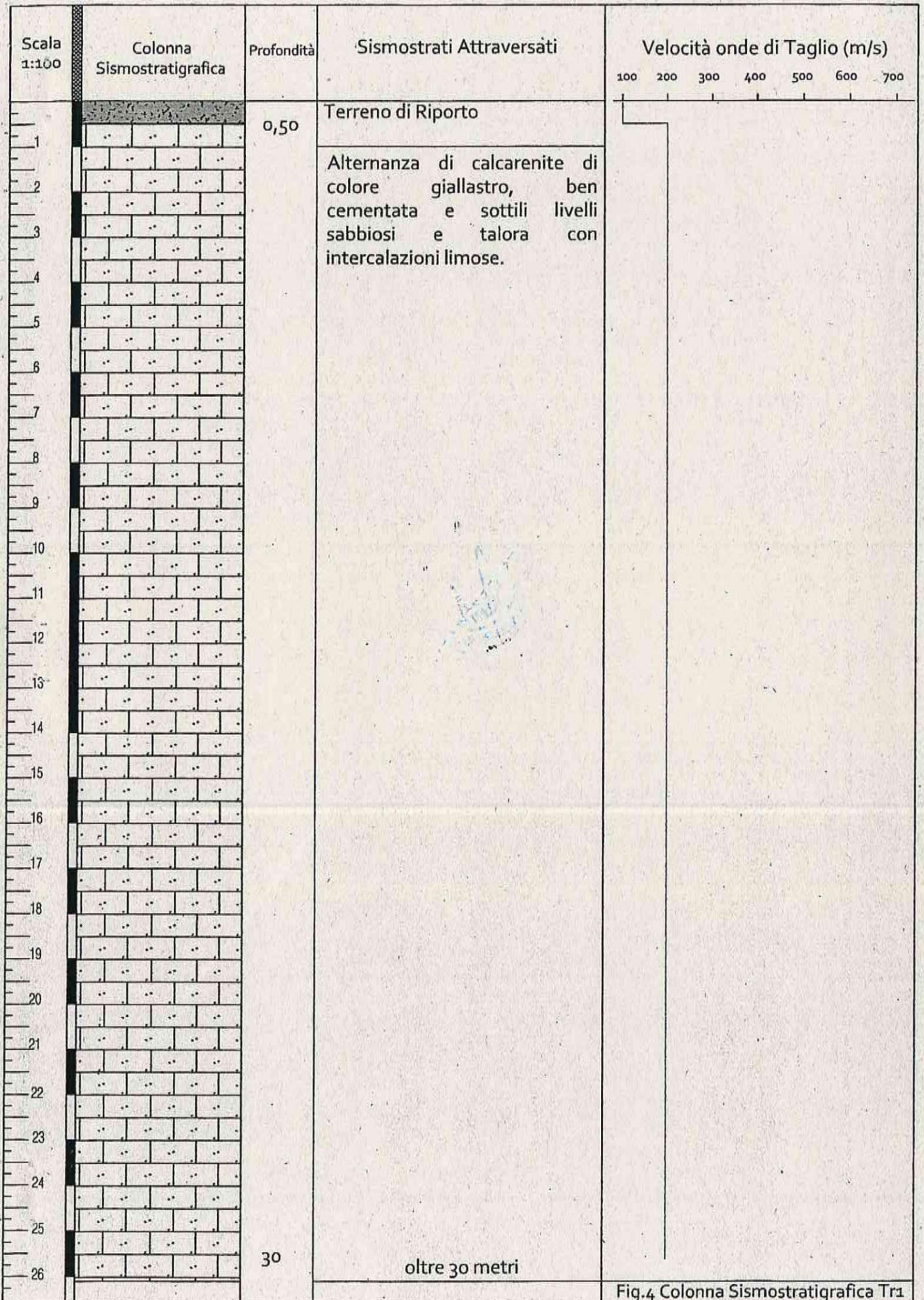


Fig.4 Colonna Sismostratigrafica Tr1

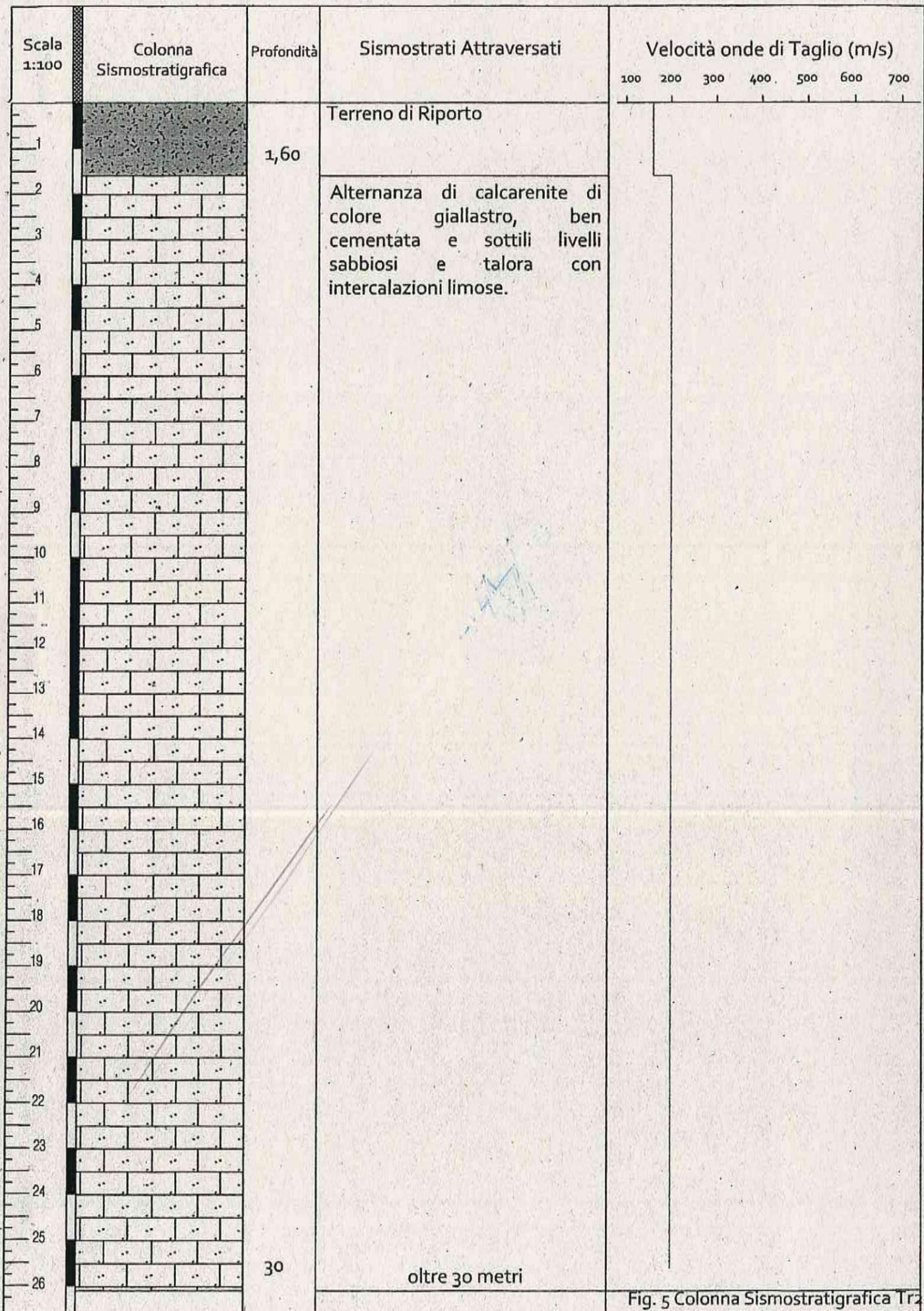
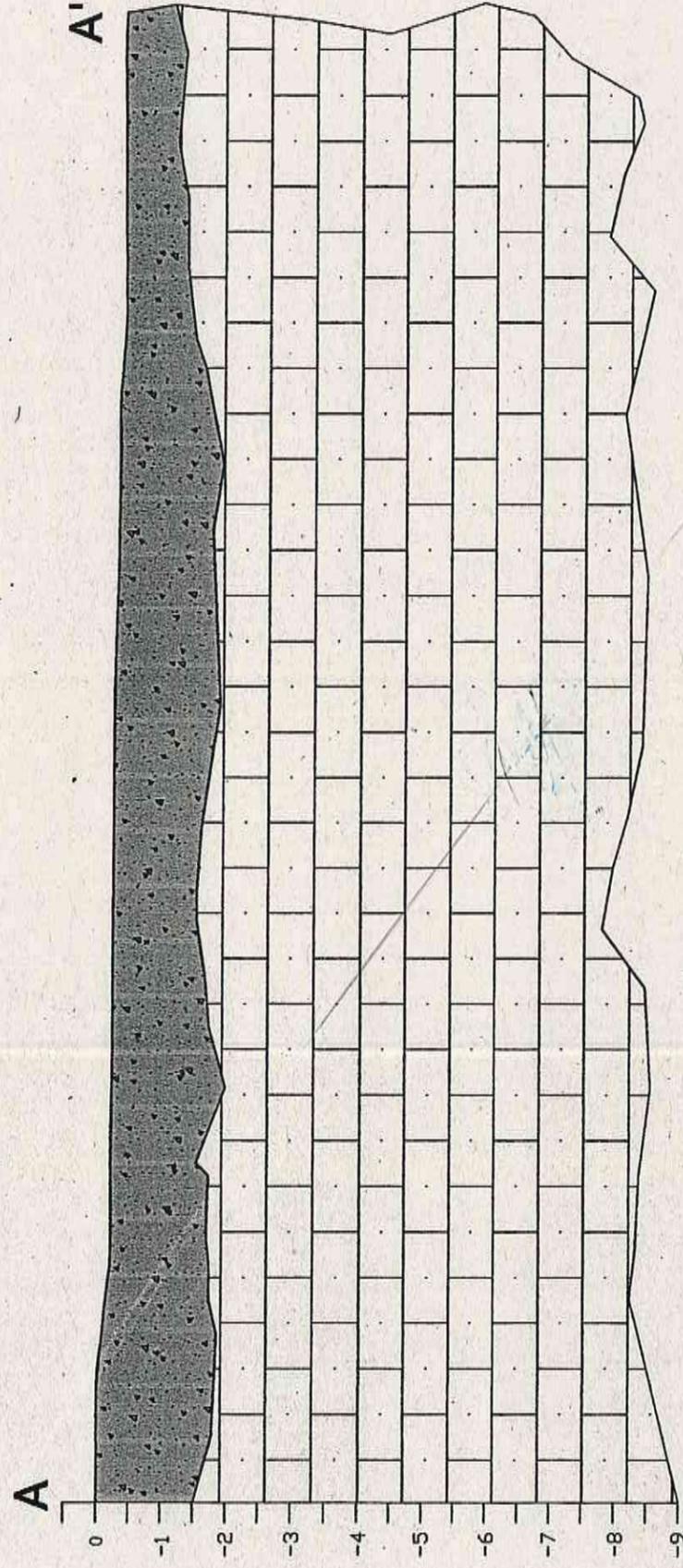


Fig. 5 Colonna Sismostratigrafica Tr2

Fig. 6: SEZIONE GEOLOGICA AA' SCALA 1:100



### Legenda



**Materiale di Riporto:**

Coltre di riporto costituita da limi sabbiosi di colore rossastro con la presenza di minuti calcarenitici e materiali di diversa natura.



**Complesso Calcarenitico Sabbioso:**

Calcarenite biotritica, spesso macrofossilifera, talora vacuolare, di colore biancastro e giallastro, con stratificazione sub-orizzontale in livelli centimetrici e decimetrici, variamente cementata, da lapidea a tenera e friabile, passante localmente a calcarenite nodulare con sabbia o/a sabbia giallastra fossilifera con noduli e subordinati sottili livelli calcarenitici.

Circolare 3/DRA 2014

TAV.1

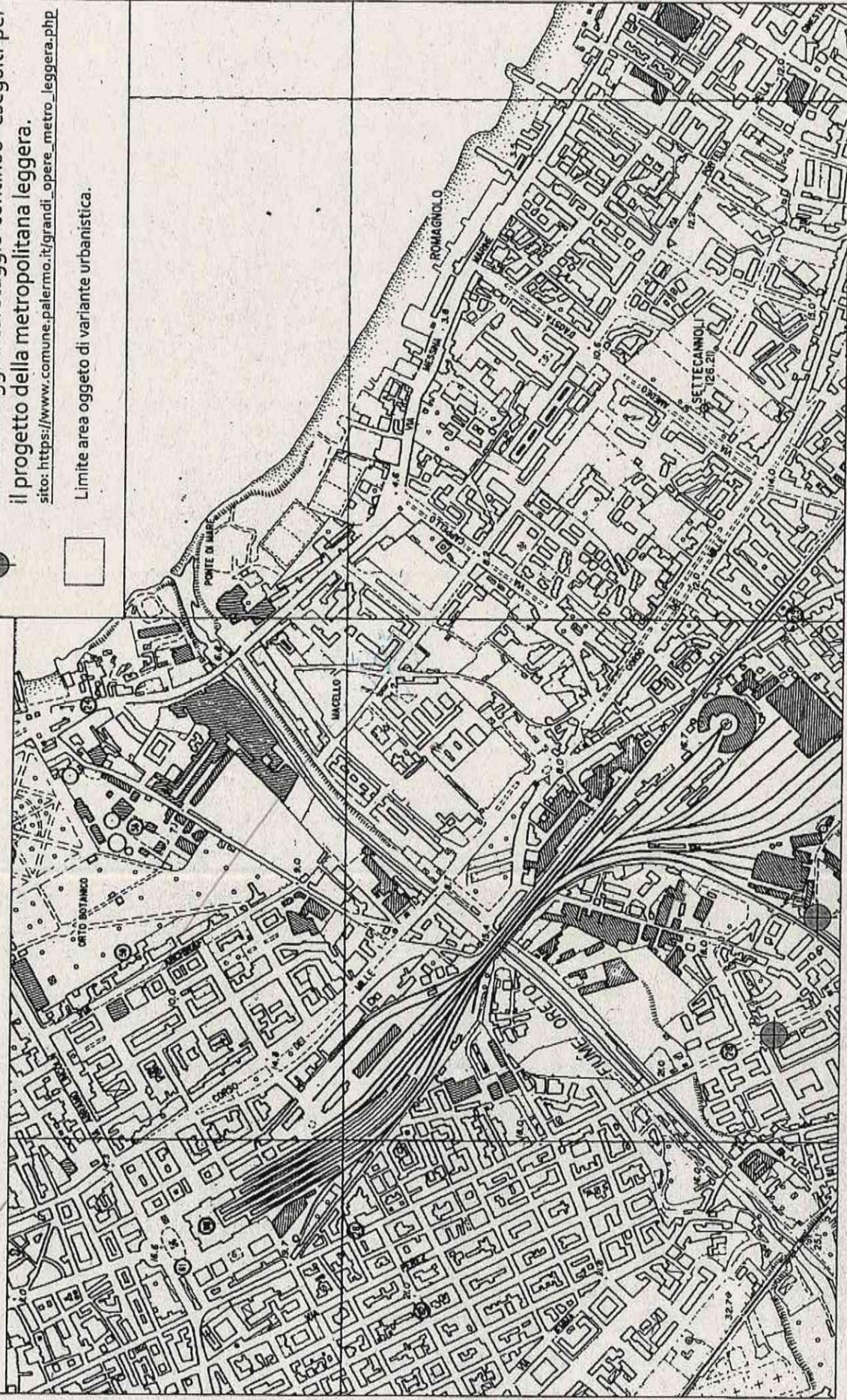
Fase Preliminare - Raccolta dati (B1a) - Carta delle Indagini scala 1:10.000

LEGENDA CARTA DELLE INDAGINI

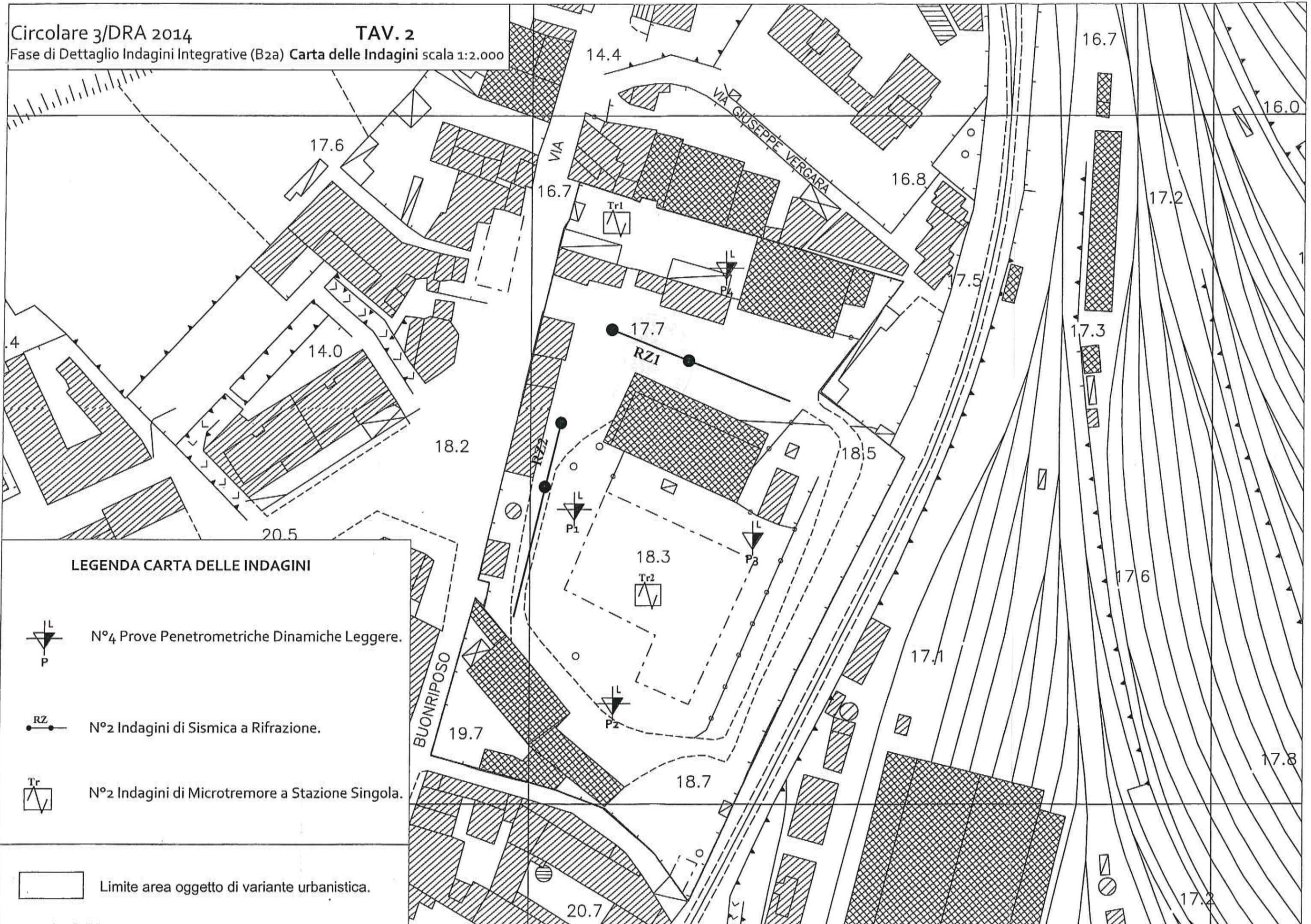
N°2 Sondaggi a carotaggio continuo eseguiti per il progetto della metropolitana leggera.

sito: [https://www.comune.palermo.it/grandi\\_opere\\_metro\\_leggera.php](https://www.comune.palermo.it/grandi_opere_metro_leggera.php)

Limite area oggetto di variante urbanistica.







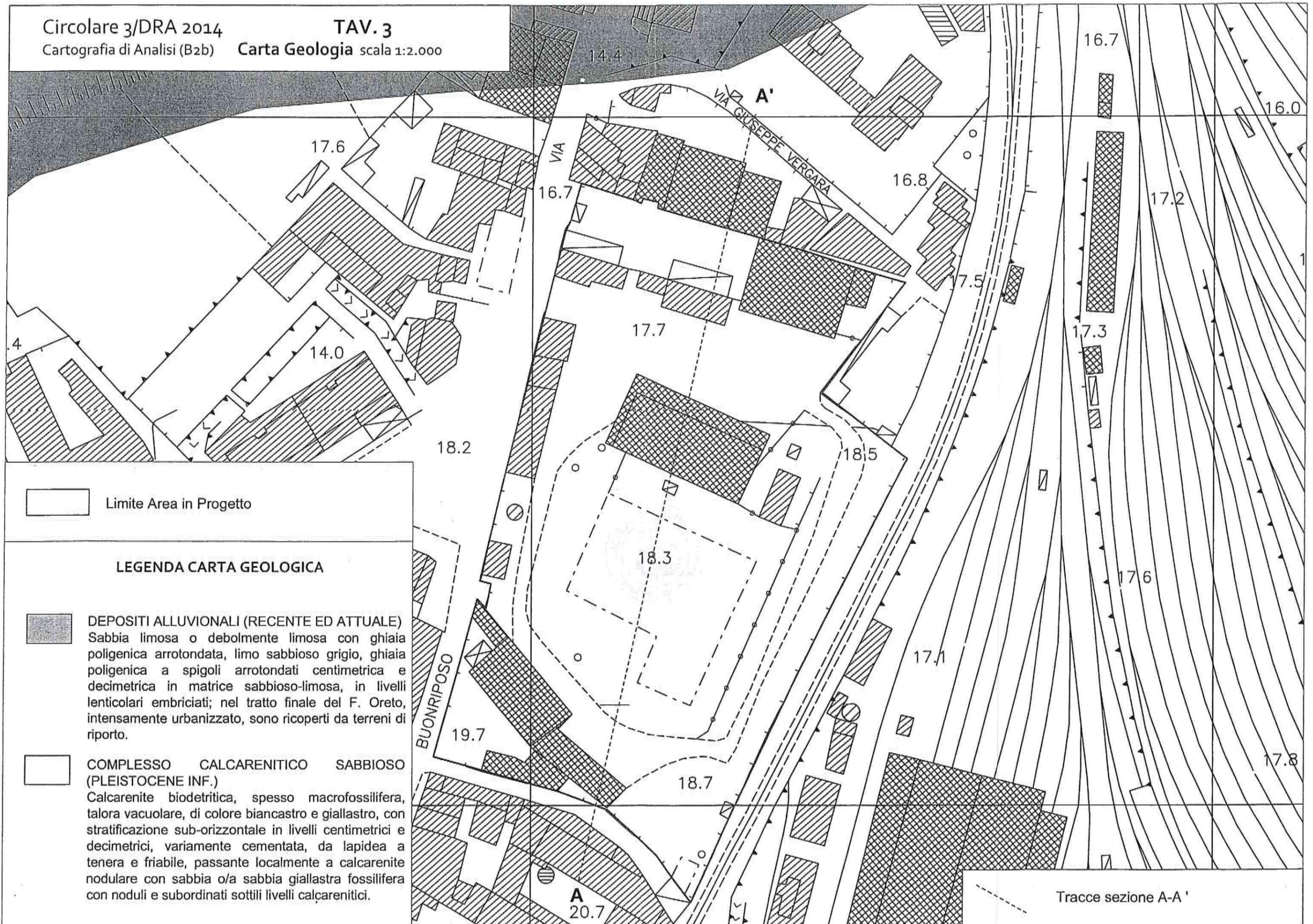
LEGENDA CARTA DELLE INDAGINI

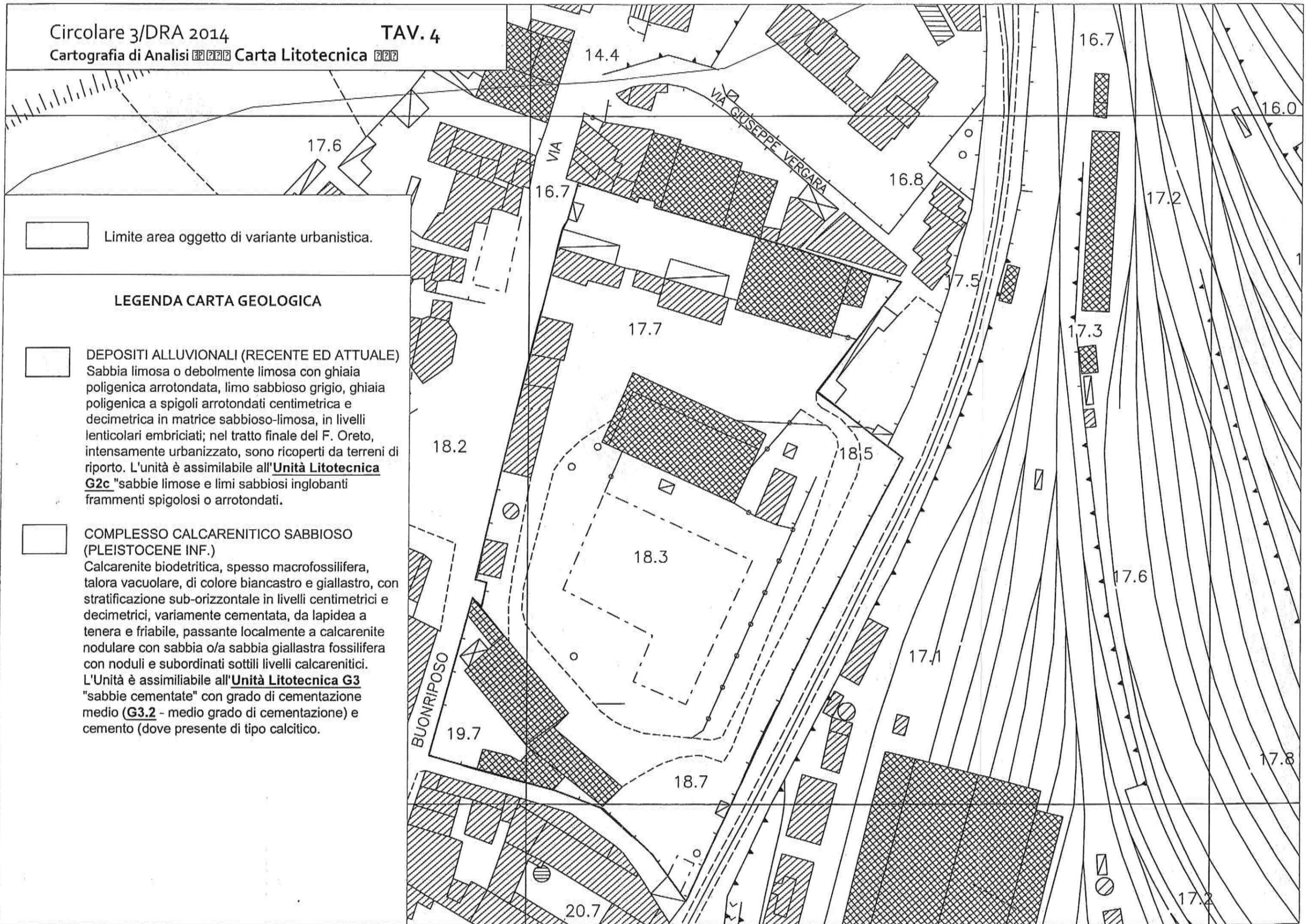
 N°4 Prove Penetrometriche Dinamiche Leggere.

 N°2 Indagini di Sismica a Rifrazione.

 N°2 Indagini di Microtremore a Stazione Singola.

 Limite area oggetto di variante urbanistica.



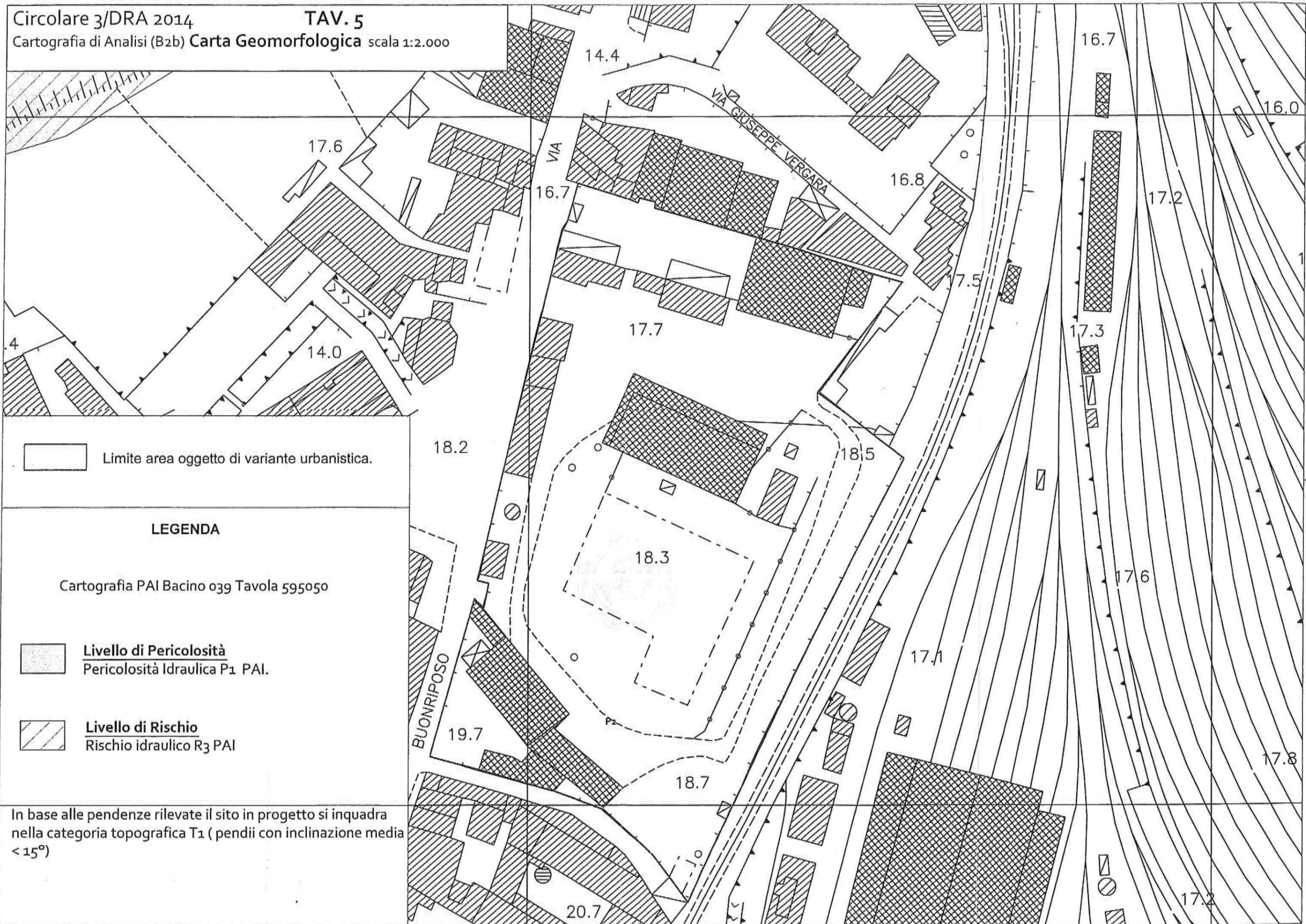


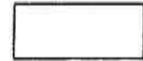
Limite area oggetto di variante urbanistica.

LEGENDA CARTA GEOLOGICA

DEPOSITI ALLUVIONALI (RECENTE ED ATTUALE)  
Sabbia limosa o debolmente limosa con ghiaia poligenica arrotondata, limo sabbioso grigio, ghiaia poligenica a spigoli arrotondati centimetrica e decimetrica in matrice sabbioso-limosa, in livelli lenticolari embriciati; nel tratto finale del F. Oreto, intensamente urbanizzato, sono ricoperti da terreni di riporto. L'unità è assimilabile all'Unità Litotecnica G2c "sabbie limose e limi sabbiosi inglobanti frammenti spigolosi o arrotondati.

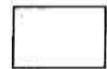
COMPLESSO CALCARENITICO SABBIOSO (PLEISTOCENE INF.)  
Calcarenite biodetritica, spesso macrofossilifera, talora vacuolare, di colore biancastro e giallastro, con stratificazione sub-orizzontale in livelli centimetrici e decimetrici, variamente cementata, da lapidea a tenera e friabile, passante localmente a calcarenite nodulare con sabbia o/a sabbia giallastra fossilifera con noduli e subordinati sottili livelli calcarenitici. L'Unità è assimilabile all'Unità Litotecnica G3 "sabbie cementate" con grado di cementazione medio (**G3.2** - medio grado di cementazione) e cemento (dove presente di tipo calcitico).





Limite area oggetto di variante urbanistica.

LEGENDA CARTA GEOLOGICA



DEPOSITI ALLUVIONALI (RECENTE ED ATTUALE)  
Sabbia limosa o debolmente limosa con ghiaia poligenica arrotondata, limo sabbioso grigio, ghiaia poligenica a spigoli arrotondati centimetrica e decimetrica in matrice sabbioso-limosa, in livelli lenticolari embriciati; nel tratto finale del F. Oreto, intensamente urbanizzato, sono ricoperti da terreni di riporto. In relazione alla taglia il complesso presenta una permeabilità buona per porosità. La permeabilità primaria è variabile a seconda del contenuto limoso ( $k$  variabile tra  $10^{-2}$  e  $-4$  cm/s).



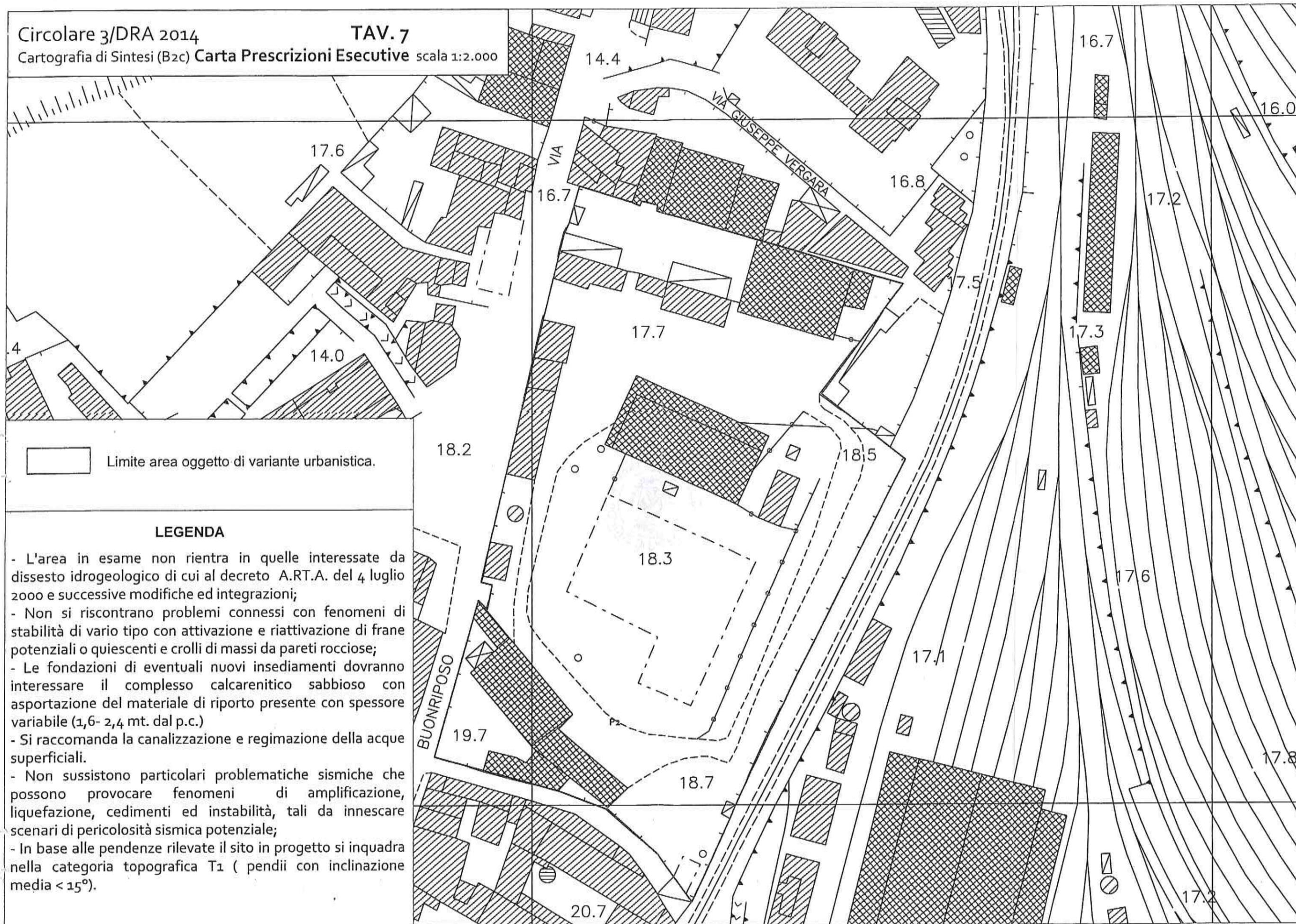
Complesso Calcarenitico Quaternario  
Calcarenite biodetritica, spesso macrofossilifera, talora vacuolare, di colore biancastro e giallastro, con stratificazione sub-orizzontale in livelli centimetrici e decimetrici, variamente cementata.

La permeabilità primaria è medio alta per porosità e secondariamente per fratturazione ( $k = 10^{-2}$   $10^{-4}$  cm/s)

Al di sotto si rinvencono le argille del flysch Numidico. La permeabilità primaria è medio alta per fratturazione. ( $k = 10^{-2}$  cm/s).

Livello piezometrico oltre i 13 metri dal p.c..





Limite area oggetto di variante urbanistica.

#### LEGENDA

- L'area in esame non rientra in quelle interessate da dissesto idrogeologico di cui al decreto A.R.T.A. del 4 luglio 2000 e successive modifiche ed integrazioni;
- Non si riscontrano problemi connessi con fenomeni di stabilità di vario tipo con attivazione e riattivazione di frane potenziali o quiescenti e crolli di massi da pareti rocciose;
- Le fondazioni di eventuali nuovi insediamenti dovranno interessare il complesso calcarenitico sabbioso con asportazione del materiale di riporto presente con spessore variabile (1,6- 2,4 mt. dal p.c.)
- Si raccomanda la canalizzazione e regimazione delle acque superficiali.
- Non sussistono particolari problematiche sismiche che possono provocare fenomeni di amplificazione, liquefazione, cedimenti ed instabilità, tali da innescare scenari di pericolosità sismica potenziale;
- In base alle pendenze rilevate il sito in progetto si inquadra nella categoria topografica T<sub>1</sub> (pendii con inclinazione media < 15°).

**STUDIO**

**ALLEGATO II**  
**INDAGINE DI SISMICA PASSIVA TROMOGRAFICA**

**SITO**

**COMUNE DI PALERMO (PA)**

**VISTO**

**OGGETTO**

**RIDETERMINAZIONE URBANISTICA PER DECADENZA VINCOLI ESPROPRIATIVI,  
DI UN AREA IDENTIFICATA IN CATASTO AL FG. 74 PARTICELLA 946, NEL  
COMUNE DI PALERMO.**

**COMMITTENTE**

**OFIM S.p.A**

**DATA**

**01/07/2019**

**PROFESSIONISTA**

**Dott. Geologo Marcello Militello**

**Ordine Regionale dei Geologi di Sicilia  
Dott. Geol. Militello Marcello  
N. 2809 Sez. A**

**ALLEGATI**

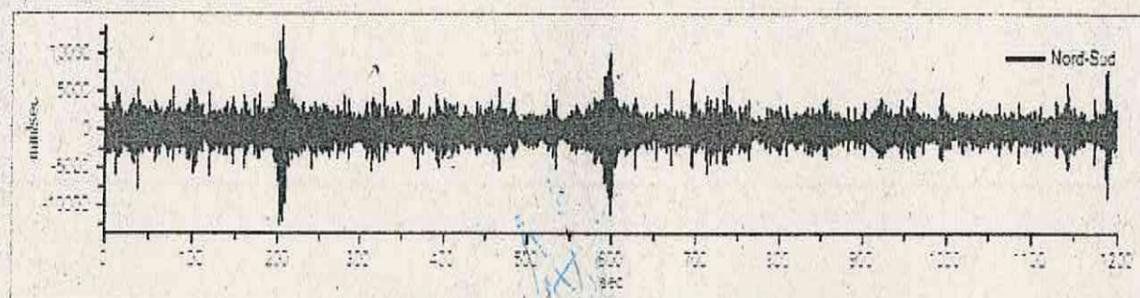
# INADAGINE SISMICA TROMOGRAFICA TR1

## Tracce in input

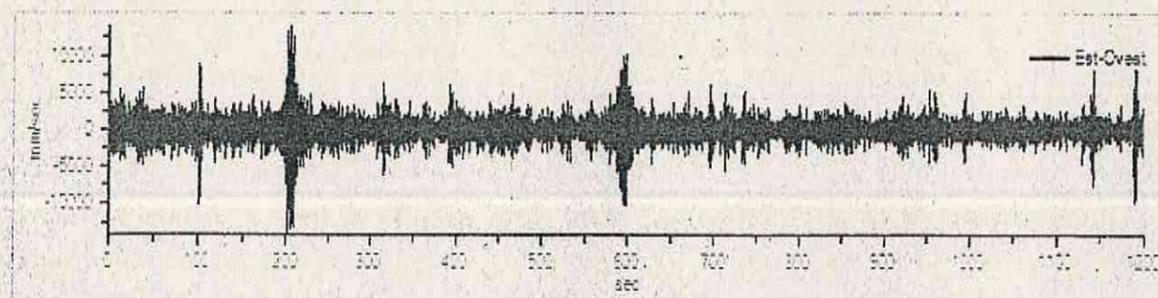
### Dati riepilogativi:

Numero tracce: 3  
Durata registrazione: 1200 s  
Frequenza di campionamento: 300.00 Hz  
Numero campioni: 360000  
Direzioni tracce: Nord-Sud; Est-Ovest; Verticale.

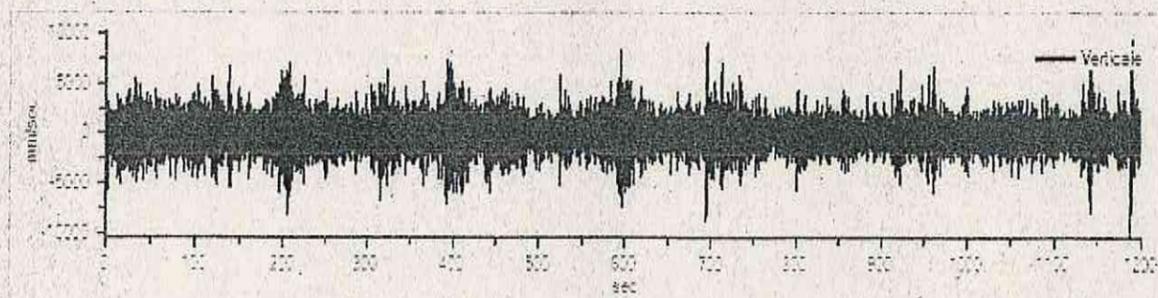
### Grafici tracce:



Traccia in direzione Nord-Sud



Traccia in direzione Est-Ovest



Traccia in direzione Verticale

## Finestre selezionate

### Dati riepilogativi:

Numero totale finestre selezionate: 43

Numero finestre incluse nel calcolo: 43

Dimensione temporale finestre: 27.307 s

Tipo di lisciamiento: Triangolare proporzionale

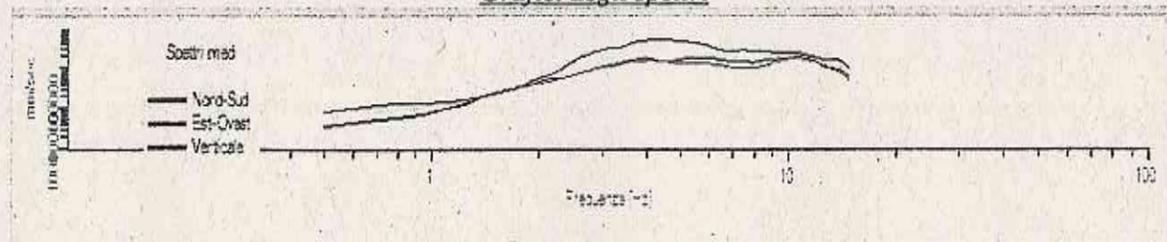
Percentuale di lisciamiento: 10.00 %

### Tabella finestre:

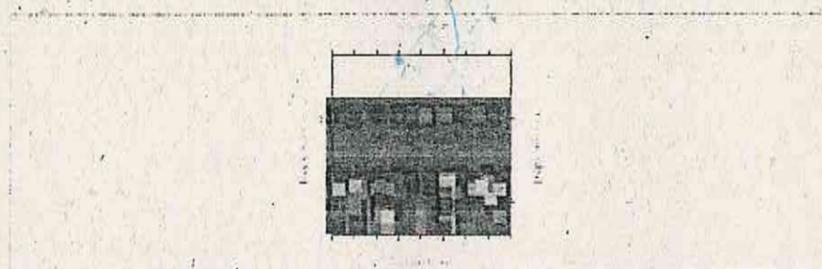
Numero finestra	Istante iniziale	Istante finale	Selezione
1	0	27.307	Inclusa
2	27.307	54.613	Inclusa
3	54.613	81.92	Inclusa
4	81.92	109.227	Inclusa
5	109.227	136.533	Inclusa
6	136.533	163.84	Inclusa
7	163.84	191.147	Inclusa
8	191.147	218.453	Inclusa
9	218.453	245.76	Inclusa
10	245.76	273.067	Inclusa
11	273.067	300.373	Inclusa
12	300.373	327.68	Inclusa
13	327.68	354.987	Inclusa
14	354.987	382.293	Inclusa
15	382.293	409.6	Inclusa
16	409.6	436.907	Inclusa
17	436.907	464.213	Inclusa
18	464.213	491.52	Inclusa
19	491.52	518.827	Inclusa
20	518.827	546.133	Inclusa
21	546.133	573.44	Inclusa
22	573.44	600.747	Inclusa
23	600.747	628.053	Inclusa
24	628.053	655.36	Inclusa
25	655.36	682.667	Inclusa
26	682.667	709.973	Inclusa
27	709.973	737.28	Inclusa
28	737.28	764.587	Inclusa
29	764.587	791.893	Inclusa
30	791.893	819.2	Inclusa
31	819.2	846.507	Inclusa
32	846.507	873.813	Inclusa
33	873.813	901.12	Inclusa
34	901.12	928.427	Inclusa
35	928.427	955.733	Inclusa

36	955.733	983.04	Inclusa
37	983.04	1010.347	Inclusa
38	1010.347	1037.653	Inclusa
39	1037.653	1064.96	Inclusa
40	1064.96	1092.267	Inclusa
41	1092.267	1119.573	Inclusa
42	1119.573	1146.88	Inclusa
43	1146.88	1174.187	Inclusa

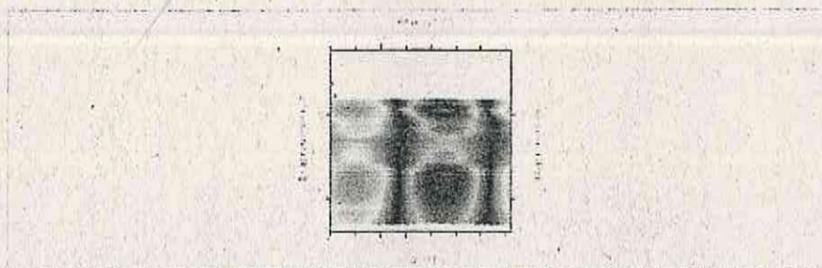
### Grafici degli spettri



Spettri medi nelle tre direzioni



Mappa della stazionarietà degli spettri



Mappa della direzionalità degli spettri

### Rapporto spettrale H/V

#### Dati riepilogativi:

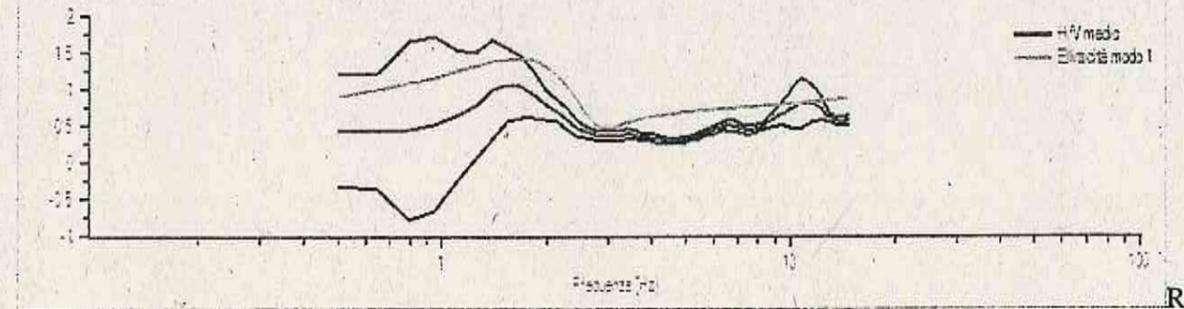
Frequenza massima: 15.00 Hz  
 Frequenza minima: 0.50 Hz  
 Passo frequenze: 0.15 Hz  
 Tipo lisciamento:: Triangolare proporzionale

Percentuale di lisciamento: 10.00 %  
 Tipo di somma direzionale: Media aritmetica

**Risultati:**

Frequenza del picco del rapporto H/V: 1.55 Hz  $\pm$  0.47 Hz

Grafico rapporto spettrale H/V



apporto spettrale H/V e suo intervallo di fiducia

Verifiche SESAME:

Verifica	Esito
$f_0 > 10/l_w$	Ok
$n_c(f_0) > 200$	Ok
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 > 0.5H$	Ok
$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 < 0.5H$	Ok
$\exists f^- \in [f_0/4, f_0]   A_{H/V}(f^-) < A_0/2$	Ok
$\exists f^- \in [f_0, 4 \cdot f_0]   A_{H/V}(f^-) < A_0/2$	Ok
$A_0 > 2$	Ok
$f_{picco}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	Non superato
$\sigma_f < \varepsilon(f)$	Non superato
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	Ok

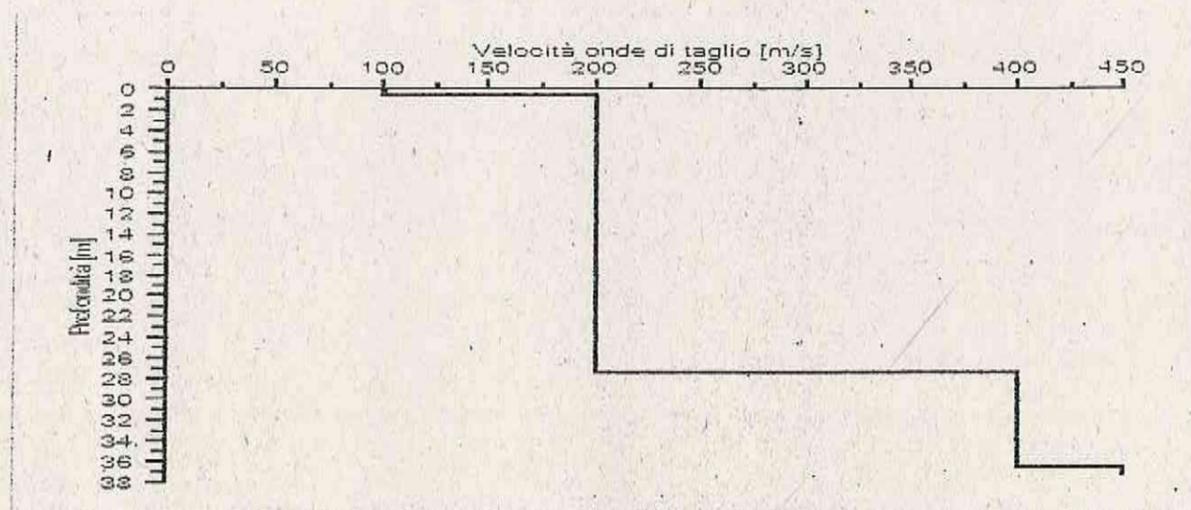
**Modello stratigrafico**

Dati riepilogativi:

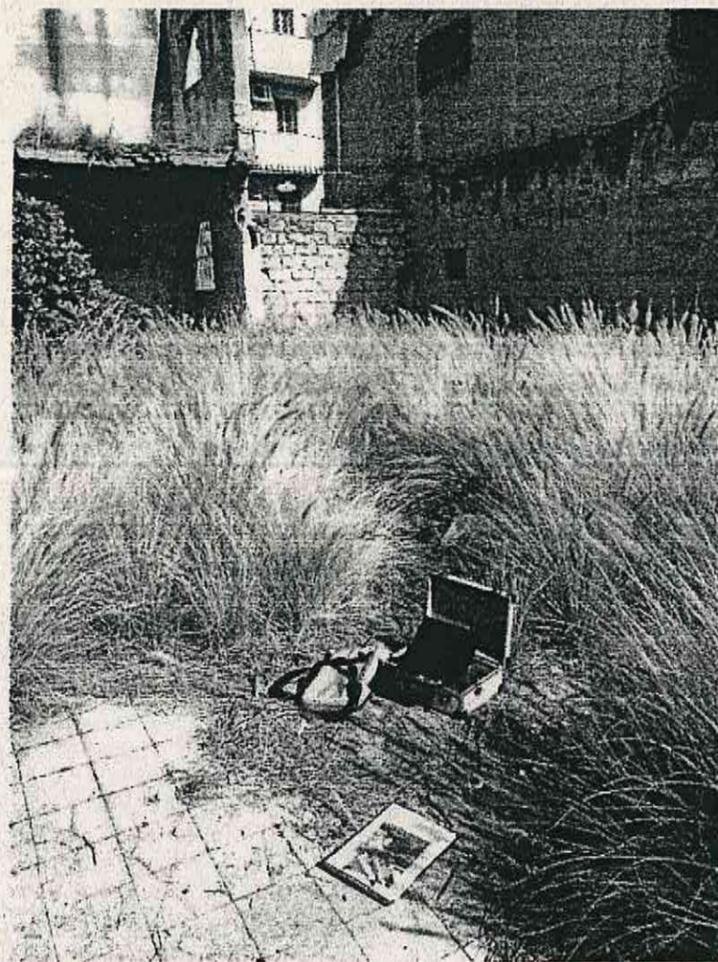
Numero strati: 4  
 Frequenza del picco dell'ellitticità: 1.70 Hz  
 Valore di disadattamento: 0.30  
 Valore Vs30: 205.13 m/s

Dati della stratigrafia:

Strato	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso per Unità di Vol. [kN/m <sup>3</sup> ]	Coeff. di Poisson	Velocità onde di taglio [m/s]
1	0	0.5	18	0.35	100
2	0.5	27	18	0.34	200
3	27.5	9	19	0.33	400
4	36.5	1	20	0.3	450



Profilo delle velocità delle onde di taglio.



Indagine Tromografica Tr1

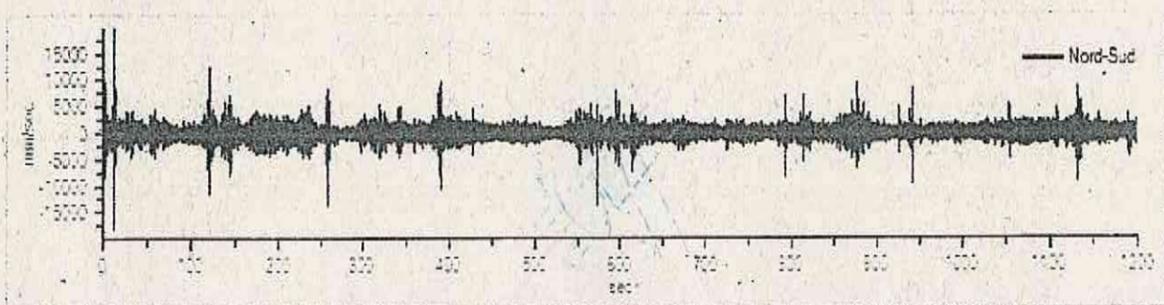
## INADAGINE DI SISMICA TROMOGRAFICA TR2

### Tracce in input

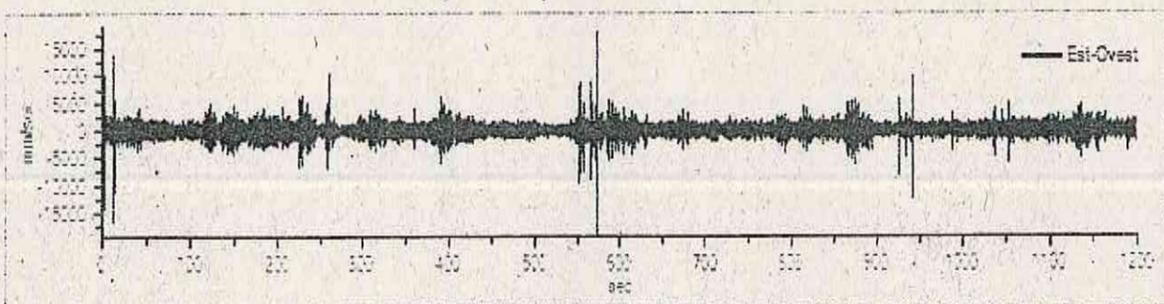
#### Dati riepilogativi:

Numero tracce: 3  
Durata registrazione: 1200 s  
Frequenza di campionamento: 300.00 Hz  
Numero campioni: 360000  
Direzioni tracce: Nord-Sud; Est-Ovest; Verticale.

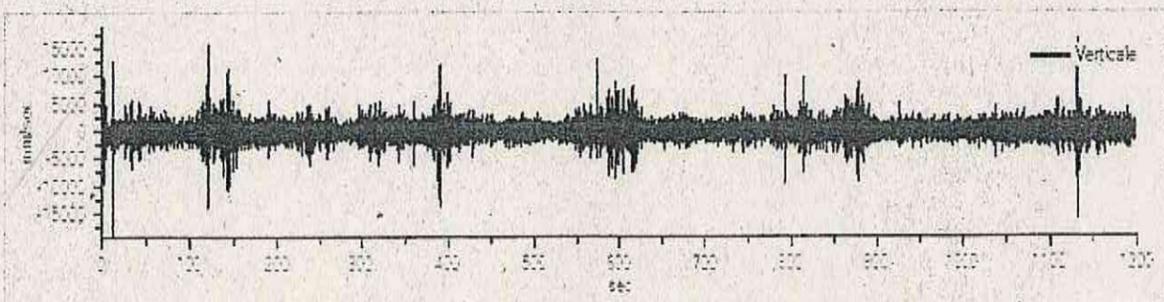
#### Grafici tracce:



Traccia in direzione Nord-Sud



Traccia in direzione Est-Ovest



Traccia in direzione Verticale

## Finestre selezionate

### Dati riepilogativi:

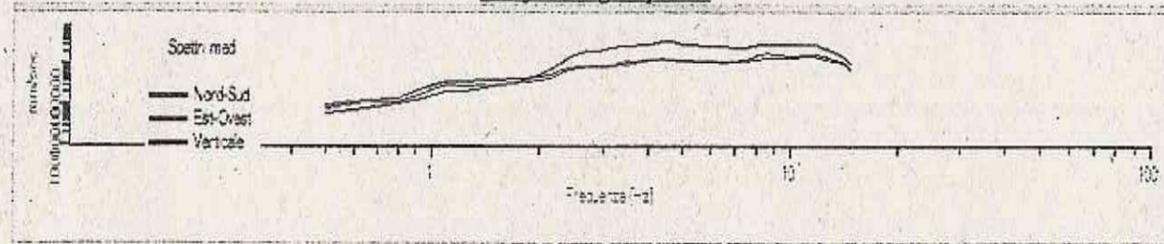
Numero totale finestre selezionate: 43  
Numero finestre incluse nel calcolo: 43  
Dimensione temporale finestre: 27.307 s  
Tipo di lisciamiento: Triangolare proporzionale  
Percentuale di lisciamiento: 10.00 %

### Tabella finestre:

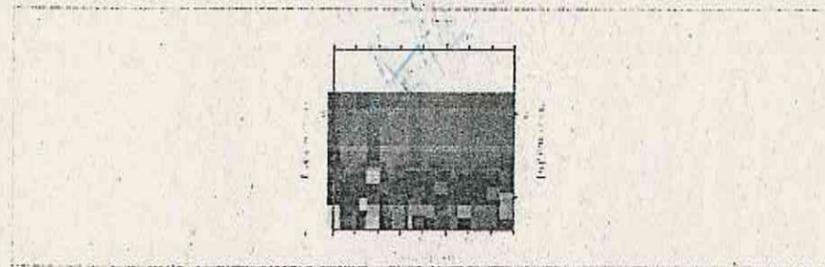
Numero finestra	Istante iniziale	Istante finale	Selezione
1	0	27.307	Inclusa
2	27.307	54.613	Inclusa
3	54.613	81.92	Inclusa
4	81.92	109.227	Inclusa
5	109.227	136.533	Inclusa
6	136.533	163.84	Inclusa
7	163.84	191.147	Inclusa
8	191.147	218.453	Inclusa
9	218.453	245.76	Inclusa
10	245.76	273.067	Inclusa
11	273.067	300.373	Inclusa
12	300.373	327.68	Inclusa
13	327.68	354.987	Inclusa
14	354.987	382.293	Inclusa
15	382.293	409.6	Inclusa
16	409.6	436.907	Inclusa
17	436.907	464.213	Inclusa
18	464.213	491.52	Inclusa
19	491.52	518.827	Inclusa
20	518.827	546.133	Inclusa
21	546.133	573.44	Inclusa
22	573.44	600.747	Inclusa
23	600.747	628.053	Inclusa
24	628.053	655.36	Inclusa
25	655.36	682.667	Inclusa
26	682.667	709.973	Inclusa
27	709.973	737.28	Inclusa
28	737.28	764.587	Inclusa
29	764.587	791.893	Inclusa
30	791.893	819.2	Inclusa
31	819.2	846.507	Inclusa
32	846.507	873.813	Inclusa
33	873.813	901.12	Inclusa
34	901.12	928.427	Inclusa
35	928.427	955.733	Inclusa

36	955.733	983.04	Inclusa
37	983.04	1010.347	Inclusa
38	1010.347	1037.653	Inclusa
39	1037.653	1064.96	Inclusa
40	1064.96	1092.267	Inclusa
41	1092.267	1119.573	Inclusa
42	1119.573	1146.88	Inclusa
43	1146.88	1174.187	Inclusa

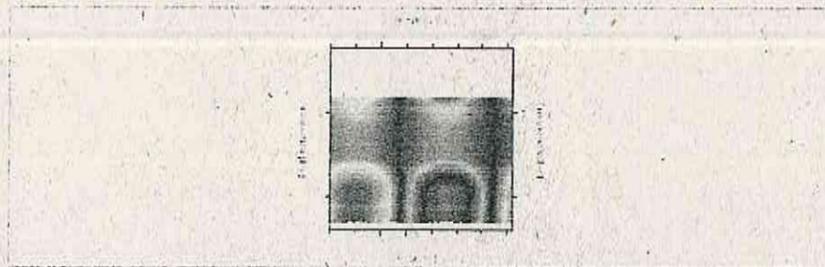
*Grafici degli spettri*



Spettri medi nelle tre direzioni



Mappa della stazionarietà degli spettri



Mappa della direzionalità degli spettri

**Rapporto spettrale H/V**

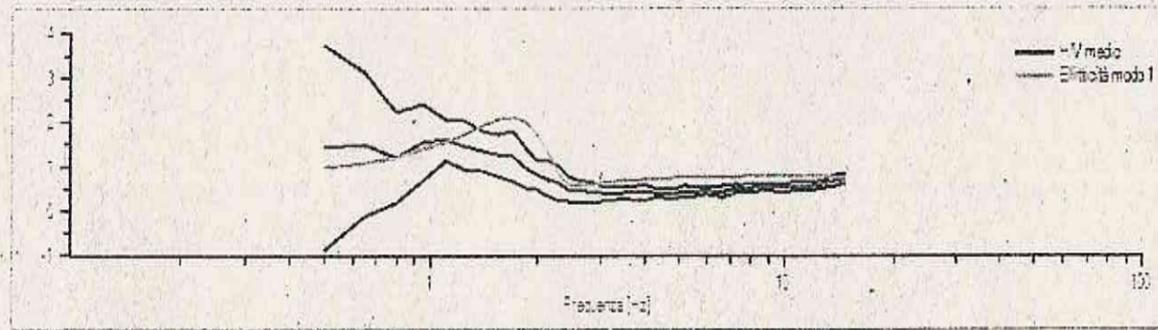
*Dati riepilogativi:*

Frequenza massima: 15.00 Hz  
 Frequenza minima: 0.50 Hz  
 Passo frequenze: 0.15 Hz  
 Tipo lisciamiento:: Triangolare proporzionale

Percentuale di lisciamento: 10.00 %  
 Tipo di somma direzionale: Media aritmetica

**Risultati:**  
 Frequenza del picco del rapporto H/V: 1.10 Hz  $\pm$  0.30 Hz

Grafico rapporto spettrale H/V



Rapporto spettrale H/V e suo intervallo di fiducia

Verifiche SESAME:

Verifica	Esito
$f_0 > 10/l_w$	Ok
$n_e(f_0) > 200$	Ok
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 > 0.5H$	Ok
$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 < 0.5H$	Ok
$\exists f^- \in [f_0/4, f_0]   A_{H/V}(f^-) < A_0/2$	Non superato
$\exists f^+ \in [f_0, 4 \cdot f_0]   A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	Ok
$A_0 > 2$	Ok
$f_{picco}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	Non superato
$\sigma_f < \hat{\epsilon}(f)$	Ok
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	Ok

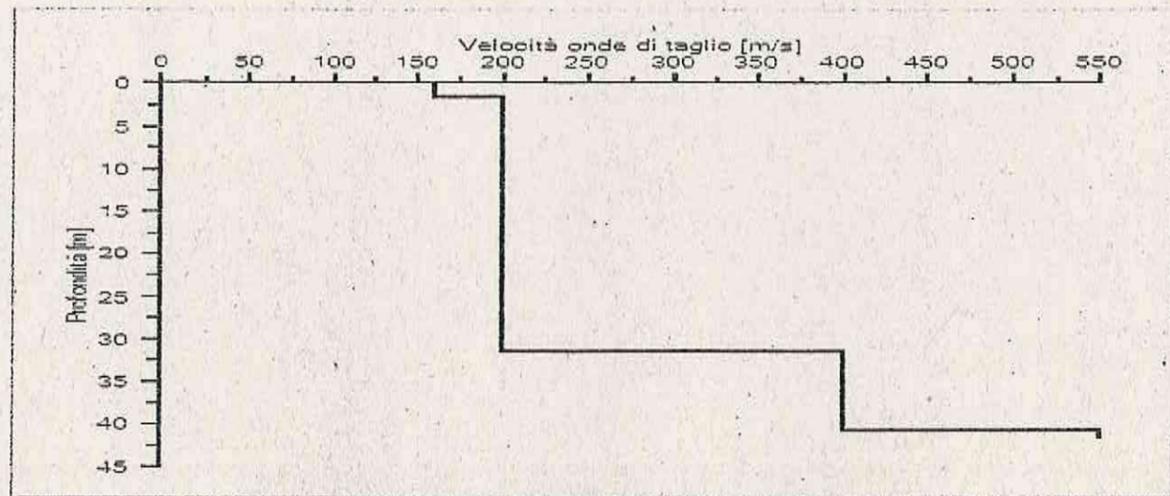
**Modello stratigrafico**

Dati riepilogativi:

Numero strati: 4  
 Frequenza del picco dell'ellitticità: 1.70 Hz  
 Valore di disadattamento: 0.25  
 Valore Vs30: 197.37 m/s

Dati della stratigrafia:

Strato	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso per Unità di Vol. [kN/m <sup>3</sup> ]	Coeff. di Poisson	Velocità onde di taglio [m/s]
1	0	1.6	18	0.3	160
2	1.6	30	18	0.3	200
3	31.6	9	18	0.3	400



Profilo delle velocità delle onde di taglio.



Indagine Tromografica Tr2

**STUDIO**

**ALLEGATO III  
SISMICA A RIFRAZIONE**

**SITO**

**COMUNE DI PALERMO (PA)**

**VISTO**

**OGGETTO**

**RIDETERMINAZIONE URBANISTICA PER DECADENZA VINCOLI ESPROPRIATIVI,  
DI UN AREA IDENTIFICATA IN CATASTO AL FG. 74 PARTICELLA 946, NEL  
COMUNE DI PALERMO.**

**COMMITTENTE**

**OFIM S.p.A**

**DATA**

**01/07/2019**

**PROFESSIONISTA**

**Dott. Geologo Marcello Militello**

**Ordine Regionale dei Geologi di Sicilia  
Dott. Geol. Militello Marcello  
N. 2809 Sez. A**

**ALLEGATI**

## INDAGINE DI SIMICA A RIFRAZIONE RZ1

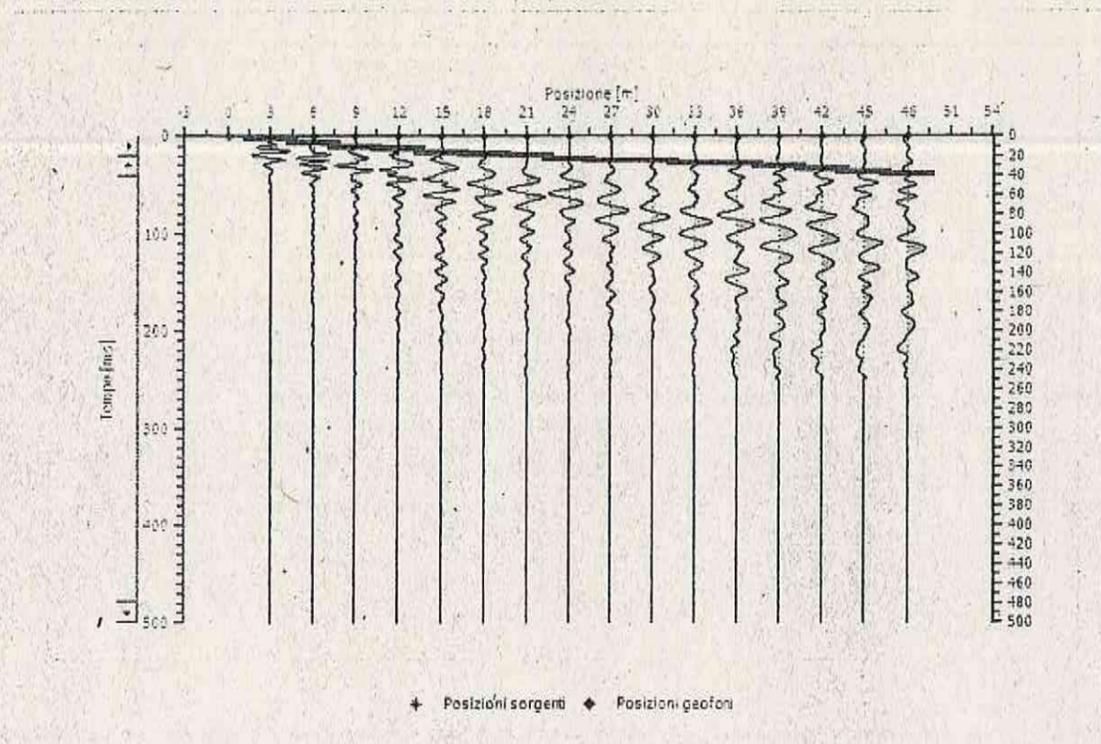
### Geometria geofoni

	Posizione X [m]	Posizione Z [m]
1	3.0	0.0
2	6.0	0.0
3	9.0	0.0
4	12.0	0.0
5	15.0	0.0
6	18.0	0.0
7	21.0	0.0
8	24.0	0.0
9	27.0	0.0
10	30.0	0.0
11	33.0	0.0
12	36.0	0.0
13	39.0	0.0
14	42.0	0.0
15	45.0	0.0
16	48.0	0.0

### Dati battute

#### Battuta 1

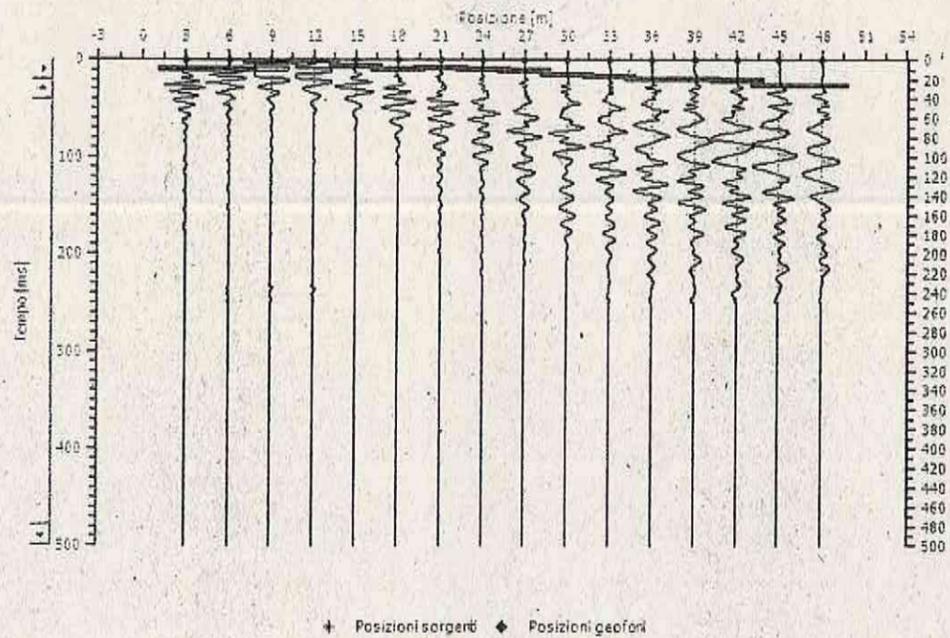
Posizione sorgente X      0 [m]  
 Posizione sorgente Z      0 [m]



Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
3.0	2.8501
6.0	7.1254
9.0	11.4006
12.0	12.8256
15.0	17.1009
18.0	18.5259
21.0	19.9510
24.0	24.2262
27.0	25.6513
30.0	25.6513
33.0	28.5014
36.0	28.5014
39.0	31.3516
42.0	34.2017
45.0	37.0518
48.0	39.9020

Battuta 2

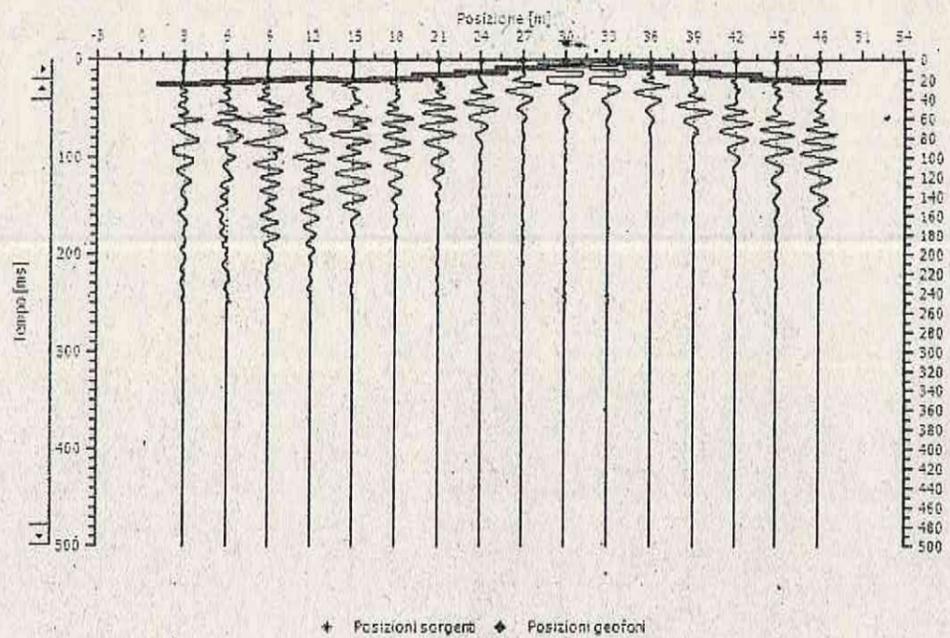
Posizione sorgente X    11 [m]  
 Posizione sorgente Z    0 [m]



Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
3.0	9.9755
6.0	9.9755
9.0	2.8501
12.0	1.4251
15.0	7.1254
18.0	9.9755
21.0	8.5504
24.0	9.9755
27.0	11.4006
30.0	15.6758
33.0	17.1009
36.0	19.9510
39.0	19.9510
42.0	21.3761
45.0	27.0764
48.0	27.0764

Battuta 3

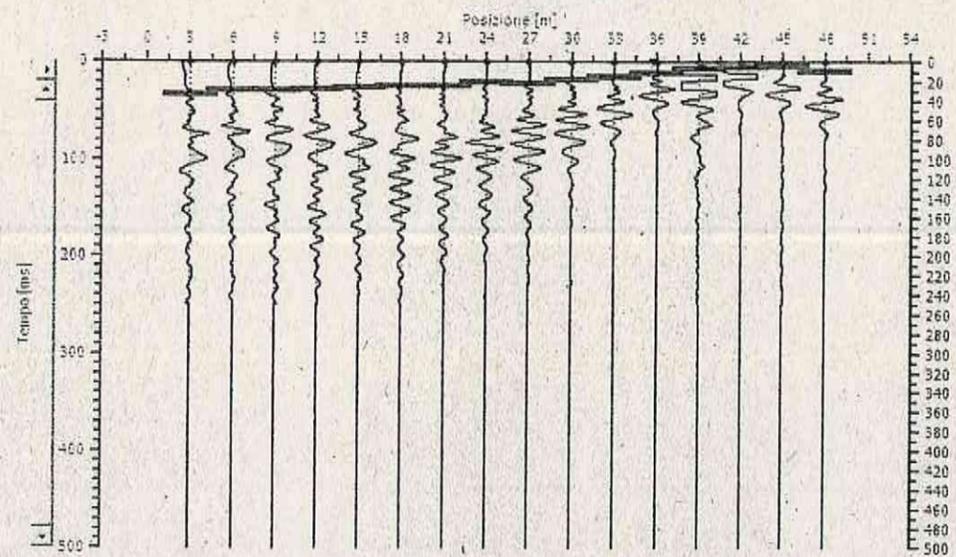
Posizione sorgente X    32 [m]  
 Posizione sorgente Z    0 [m]



Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
3.0	25.6513
6.0	24.2262
9.0	21.3761
12.0	19.9510
15.0	21.3761
18.0	19.9510
21.0	15.6758
24.0	12.8256
27.0	8.5504
30.0	5.7003
33.0	1.4251
36.0	7.1254
39.0	12.8256
42.0	15.6758
45.0	19.9510
48.0	22.8011

Battuta 4

Posizione sorgente X     41 [m]  
 Posizione sorgente Z     405 [m]

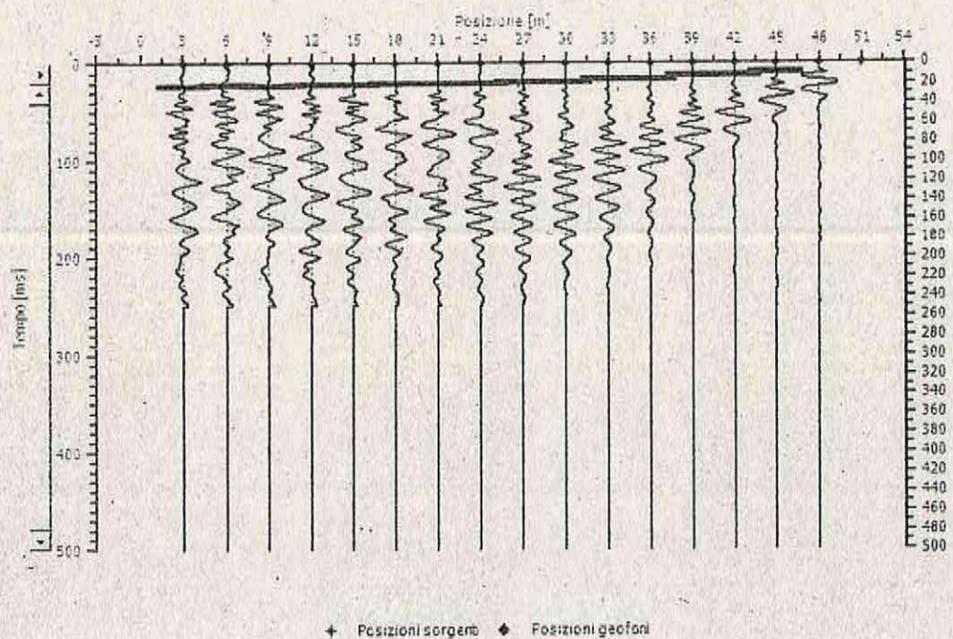


◆ Posizioni sorgenti ◆ Posizioni geofoni

Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
3.0	34.2017
6.0	29.9265
9.0	29.9265
12.0	28.5014
15.0	27.0764
18.0	25.6513
21.0	25.6513
24.0	21.3761
27.0	22.8011
30.0	18.5259
33.0	15.6758
36.0	11.4006
39.0	7.1254
42.0	5.7003
45.0	4.2752
48.0	9.9755

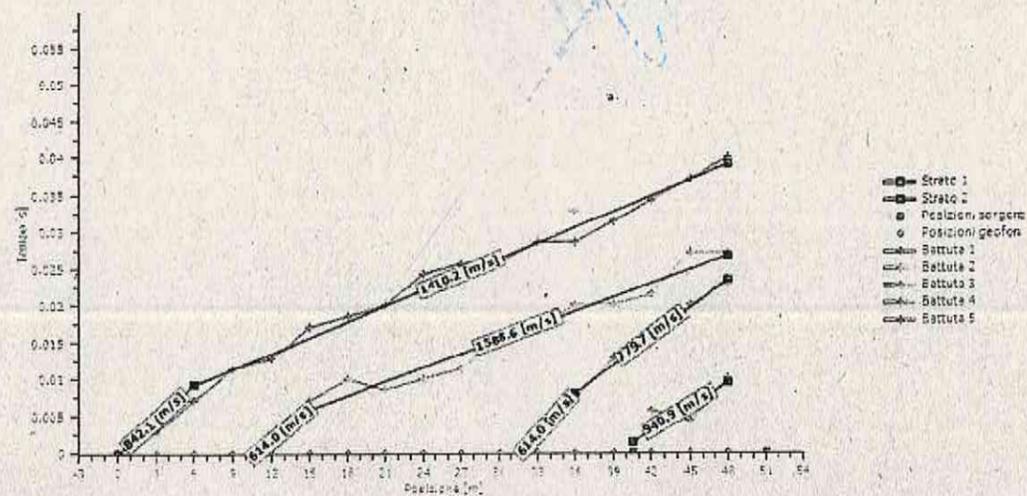
Battuta 5

Posizione sorgente X 51 [m]  
 Posizione sorgente Z 0 [m]

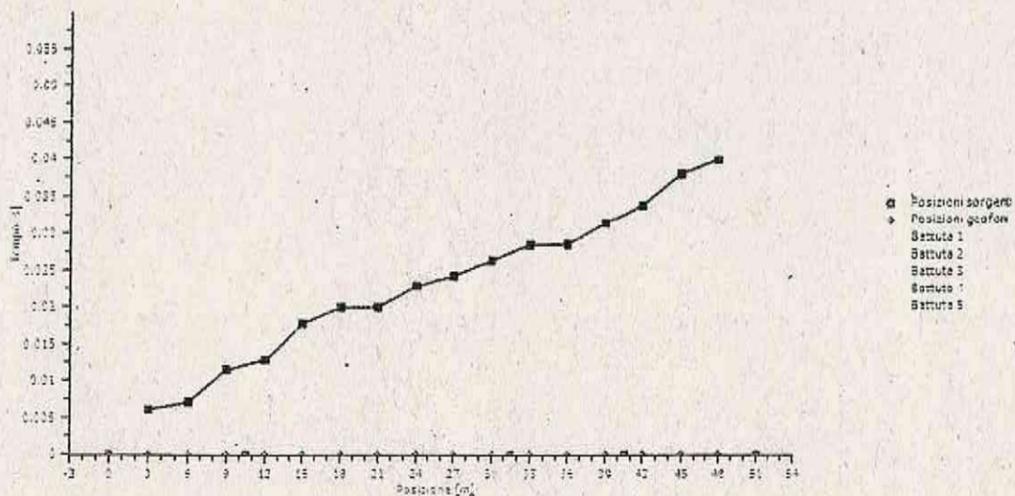


Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
3.0	24.2262
6.0	22.8011
9.0	24.2262
12.0	22.8011
15.0	22.8011
18.0	21.3761
21.0	21.3761
24.0	21.3761
27.0	19.9510
30.0	19.9510
33.0	17.1009
36.0	17.1009
39.0	12.8256
42.0	12.8256
45.0	9.9755
48.0	-1.4251

### Dromocrone



**Dromocrone traslate**



**Interpretazione col metodo G.,R.M.**

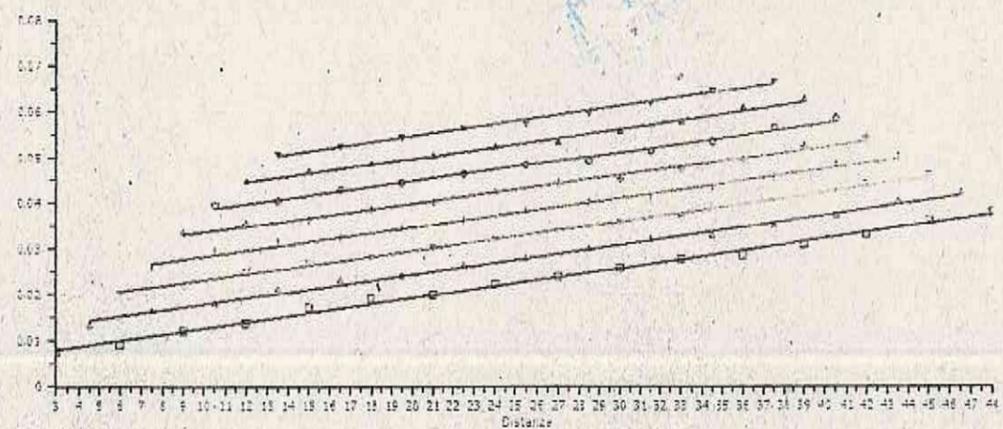
XY: 0

	Strato n. 1	...	Strato n. 2
G= 3.0 [m]		0.0	--
G= 6.0 [m]		0.0	--
G= 9.0 [m]		0.0	--
G= 12.0 [m]		0.0	--
G= 15.0 [m]		0.9	--
G= 18.0 [m]		1.2	--
G= 21.0 [m]		0.0	--
G= 24.0 [m]		0.7	--
G= 27.0 [m]		0.5	--
G= 30.0 [m]		0.7	--
G= 33.0 [m]		0.9	--
G= 36.0 [m]		0.0	--
G= 39.0 [m]		0.5	--
G= 42.0 [m]		0.9	--
G= 45.0 [m]		2.5	--
G= 48.0 [m]		2.6	--
Velocità [m/sec]		997.8	1528.8
Descrizione			

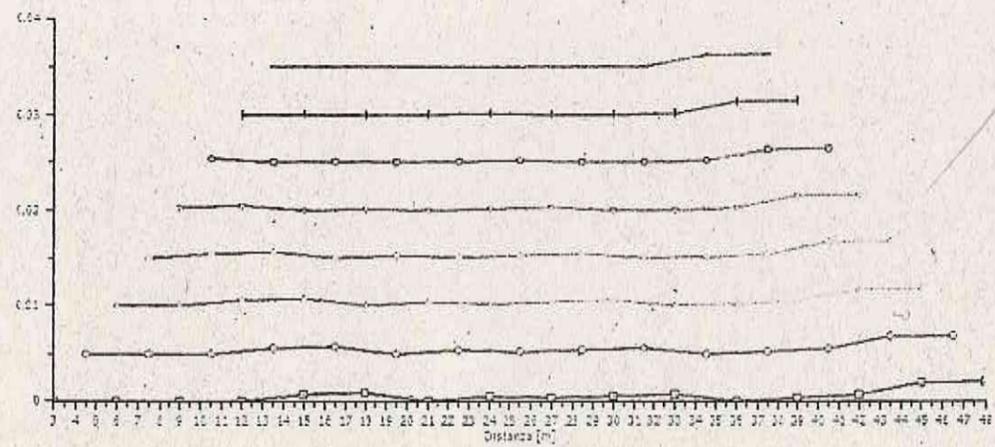
**Altri parametri geotecnici**

	Strato n. 1	Strato n. 2
Coefficiente Poisson	0.35	0.35
Densità [kg/m <sup>3</sup> ]	1800.00	1800.00
Vp [m/s]	997.80	1528.81
Vs [m/s]	479.33	734.42
G0 [MPa]	413.56	970.87
Ed [Mpa]	1792.08	4207.09
M0 [MPa]	1378.52	3236.23
Ey [Mpa]	1116.60	2621.34

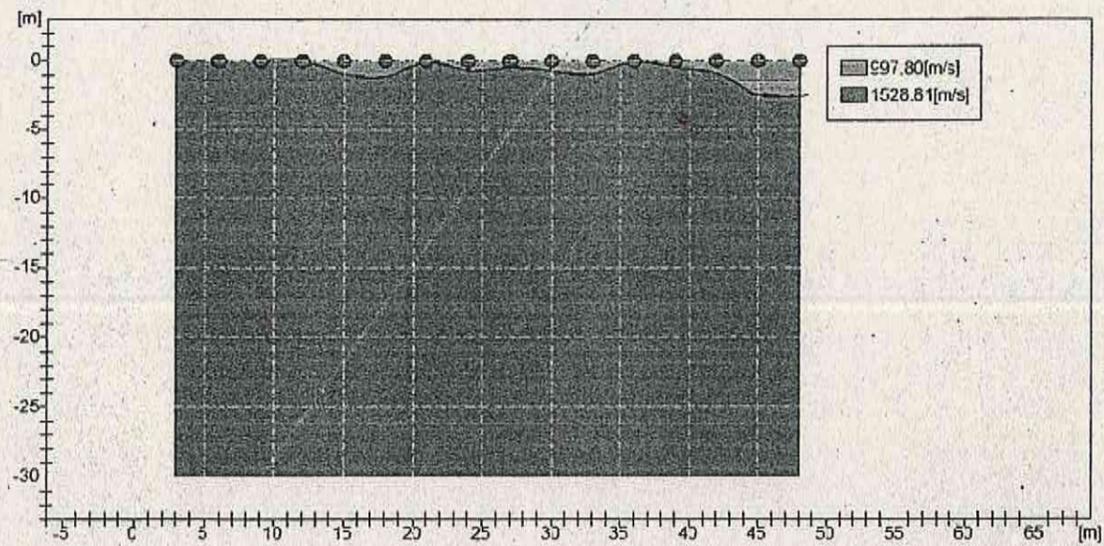
G0: Modulo di deformazione al taglio;  
 Ed: Modulo edometrico;  
 M0: Modulo di compressibilità volumetrica;  
 Ey: Modulo di Young;



□ XY = 1, Deviazione standard = 0.00905    △ XY = 3, Deviazione standard = 0.00843    - XY = 5, Deviazione standard = 0.00772  
 + XY = 7, Deviazione standard = 0.00712    × XY = 12, Deviazione standard = 0.00546    ○ XY = 15, Deviazione standard = 0.005  
 ▲ XY = 18, Deviazione standard = 0.0055    ▼ XY = 21, Deviazione standard = 0.00504



XY = 0, Rugosità = 0.000448    XY = 3, Rugosità = 0.000426    XY = 6, Rugosità = 0.000404    XY = 9, Rugosità = 0.000397  
 XY = 12, Rugosità = 0.000462    XY = 15, Rugosità = 0.000417    XY = 18, Rugosità = 0.000433    XY = 21, Rugosità = 0.000443



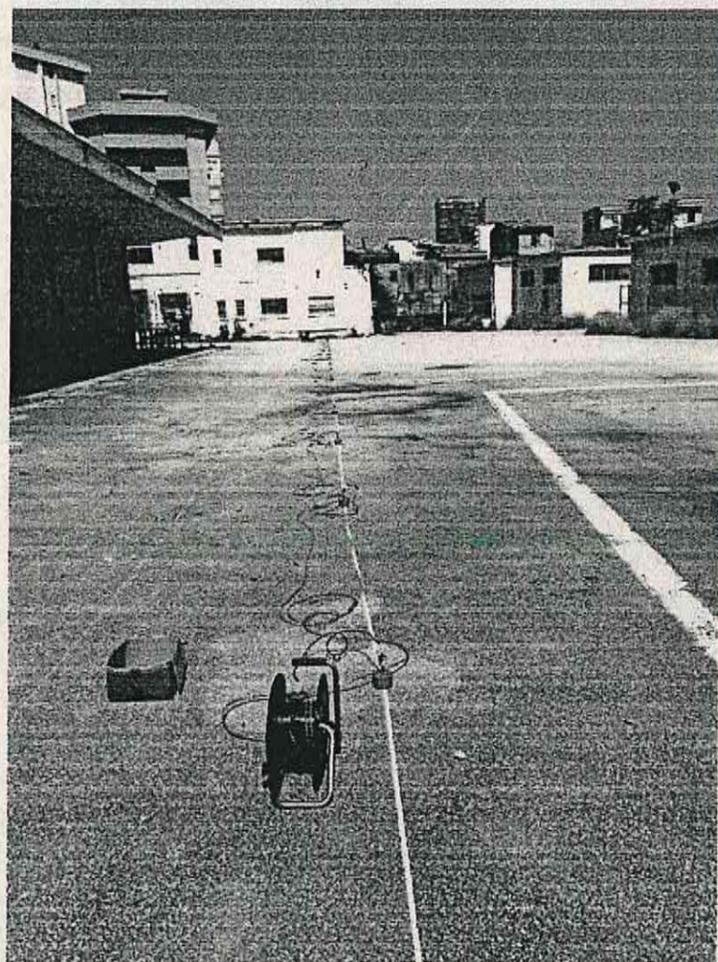
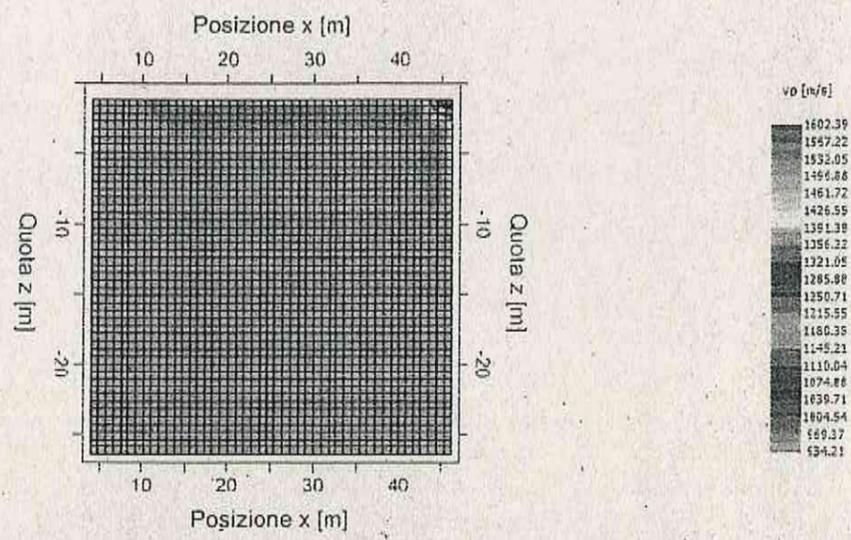


Foto Stendimento Sismica a Rifrazione Rz1

---

INDAGINE DI SIMICA A RIFRAZIONE RZ2

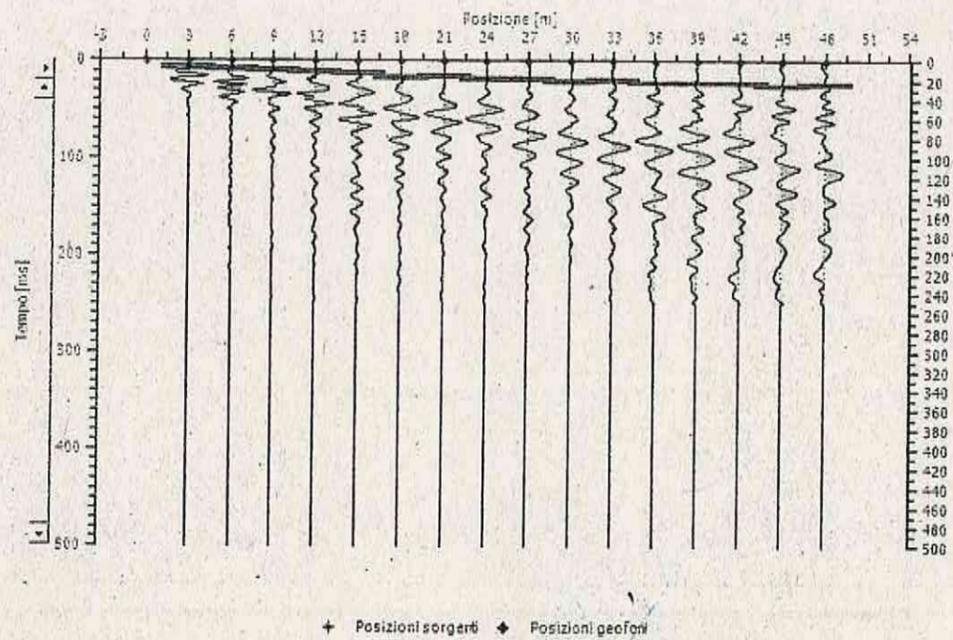
Geometria geofoni

	Posizione X [m]	Posizione Z [m]
1	3.0	0.0
2	6.0	0.0
3	9.0	0.0
4	12.0	0.0
5	15.0	0.0
6	18.0	0.0
7	21.0	0.0
8	24.0	0.0
9	27.0	0.0
10	30.0	0.0
11	33.0	0.0
12	36.0	0.0
13	39.0	0.0
14	42.0	0.0
15	45.0	0.0
16	48.0	0.0

Dati battute

Battuta 1

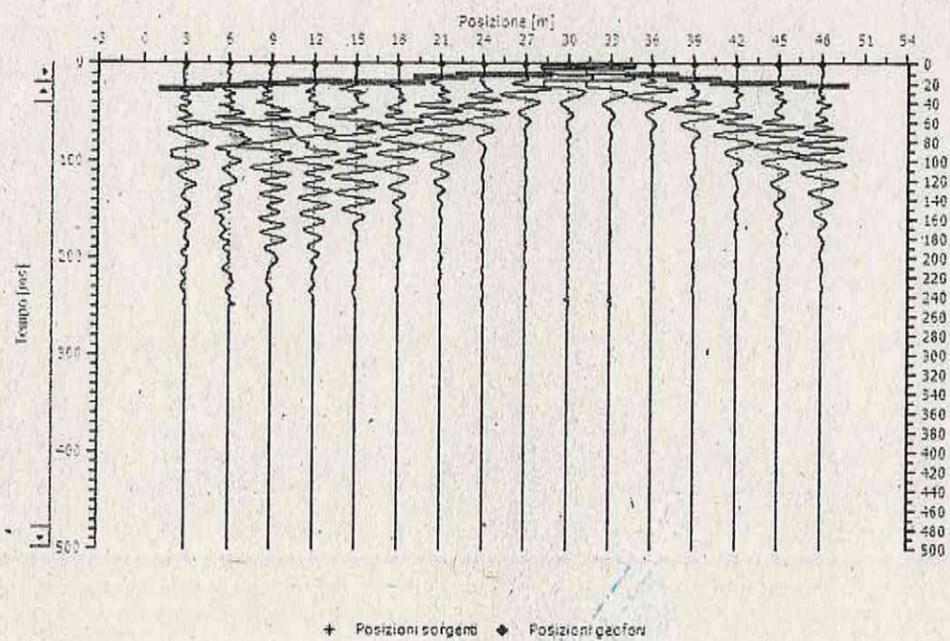
Posizione sorgente X      0 [m]  
Posizione sorgente Z      0 [m]



Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
3.0	7.1254
6.0	8.5504
9.0	9.9755
12.0	11.4006
15.0	12.8256
18.0	17.1009
21.0	15.6758
24.0	18.5259
27.0	18.5259
30.0	21.3761
33.0	19.9510
36.0	22.8011
39.0	22.8011
42.0	22.8011
45.0	25.6513
48.0	24.2262

Battuta 2

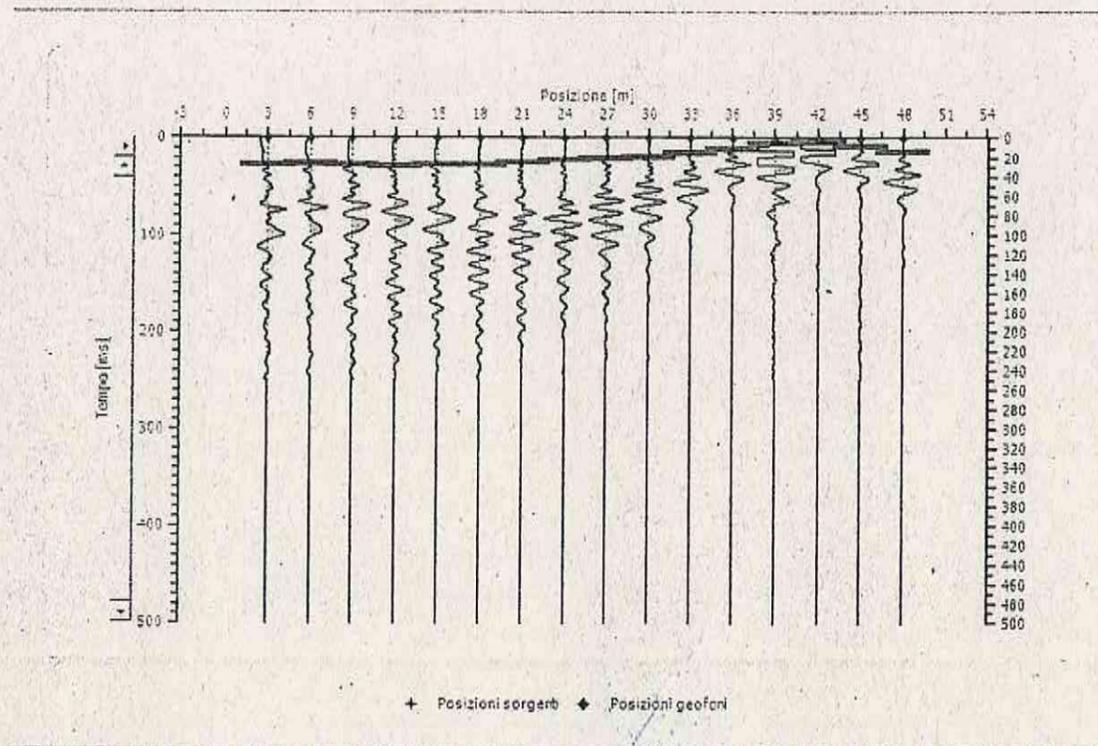
Posizione sorgente X      11      [m]  
 Posizione sorgente Z      0 [m]



Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
3.0	27.0764
6.0	24.2262
9.0	22.0000
12.0	18.5259
15.0	20.0000
18.0	20.0000
21.0	14.2507
24.0	11.4006
27.0	11.4006
30.0	4.2752
33.0	1.4251
36.0	11.4006
39.0	15.6758
42.0	20.0000
45.0	20.0000
48.0	23.2000

Battuta 4

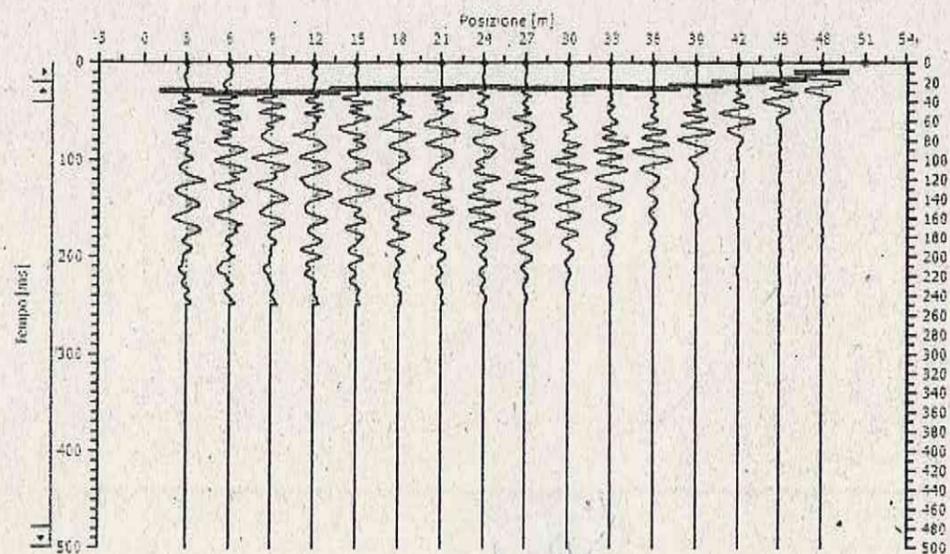
Posizione sorgente X      41      [m]  
 Posizione sorgente Z      0 [m]



Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
3.0	28.5014
6.0	27.0764
9.0	28.5014
12.0	29.9265
15.0	28.5014
18.0	28.5014
21.0	26.0000
24.0	22.8011
27.0	21.0000
30.0	20.4000
33.0	15.6758
36.0	11.4006
39.0	5.7003
42.0	2.8501
45.0	8.5504
48.0	14.2507

Battuta 5.

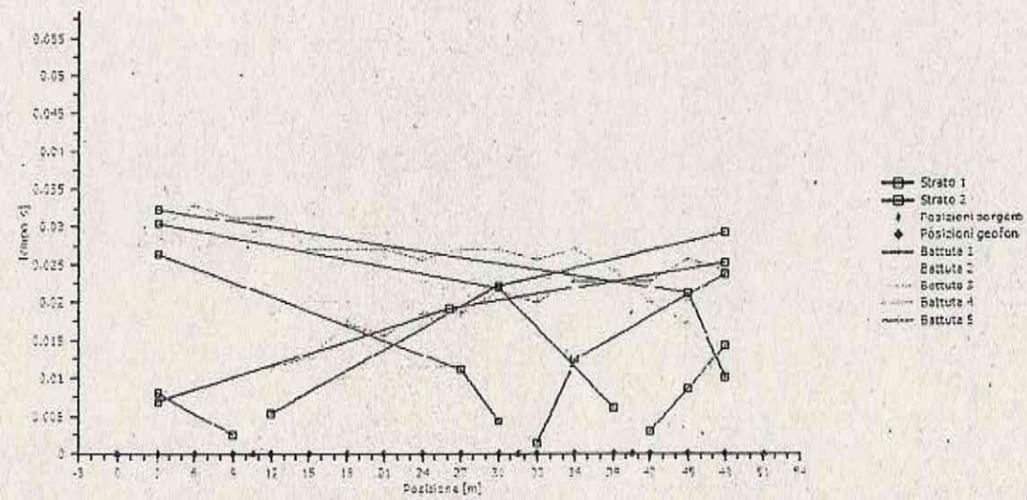
Posizione sorgente X      51      [m]  
 Posizione sorgente Z      0 [m]



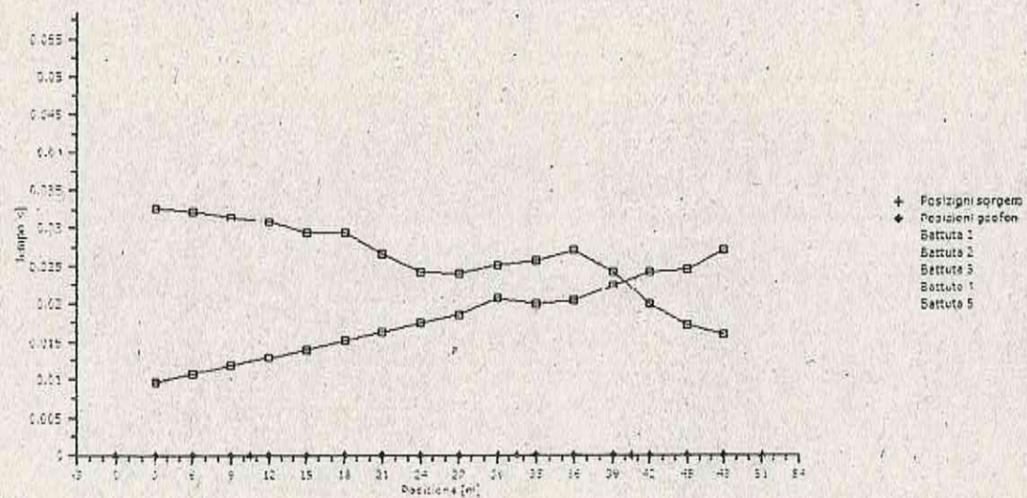
+ Posizioni sorgenti ♦ Posizioni geofoni

Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
3.0	29.9265
6.0	32.7766
9.0	31.3516
12.0	31.3516
15.0	27.0764
18.0	27.0764
21.0	27.0764
24.0	25.6513
27.0	27.0764
30.0	27.0764
33.0	25.6513
36.0	27.0764
39.0	24.2262
42.0	19.9510
45.0	17.1009
48.0	9.9755

**Dromocrone**



**Dromocrone traslate**



**Interpretazione col metodo G.,R.M.**

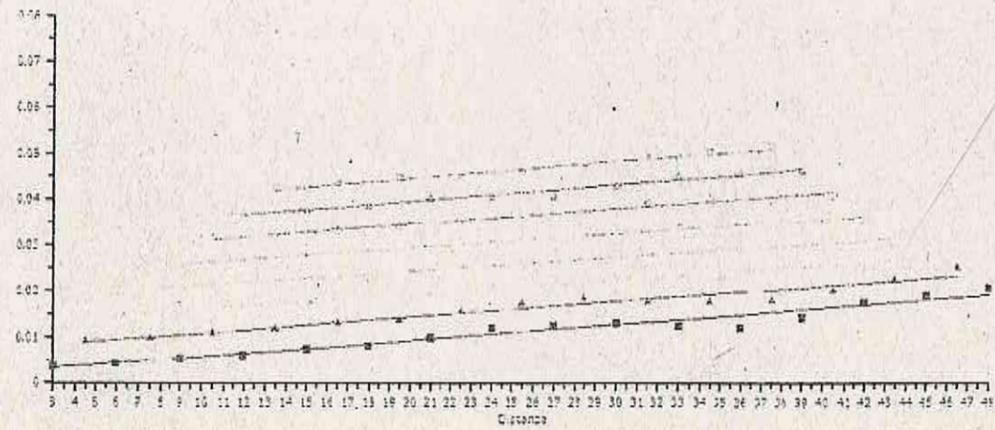
XY: 0

	Strato n. 1	Strato n. 2
G= 3.0 [m]	1.9	--
G= 6.0 [m]	2.3	--
G= 9.0 [m]	1.5	--
G= 12.0 [m]	2.0	--
G= 15.0 [m]	1.2	--
G= 18.0 [m]	2.5	--
G= 21.0 [m]	2.0	--
G= 24.0 [m]	2.5	--
G= 27.0 [m]	2.3	--
G= 30.0 [m]	2.4	--
G= 33.0 [m]	2.9	--
G= 36.0 [m]	2.2	--
G= 39.0 [m]	1.5	--
G= 42.0 [m]	1.4	--
G= 45.0 [m]	1.9	--
G= 48.0 [m]	2.5	--
Velocità [m/sec]	669.9	3936.1
Descrizione		

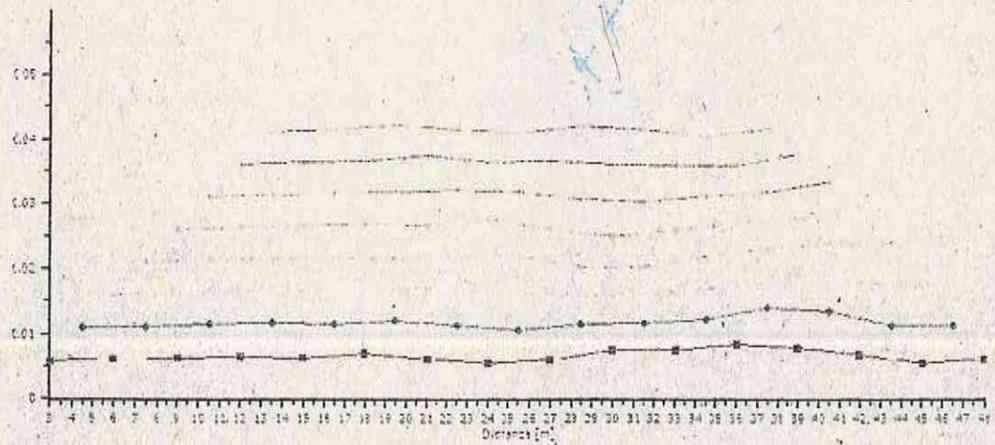
**Altri parametri geotecnici**

	Strato n. 1	Strato n. 2
Coefficiente Poisson	0.35	0.35
Densità [kg/m <sup>3</sup> ]	1800.00	1800.00
Vp [m/s]	669.93	3936.10
Vs [m/s]	321.83	1890.84
G0 [MPa]	186.43	6435.51
Ed [Mpa]	807.86	27887.21
M0 [MPa]	621.43	21451.70
Ey [Mpa]	503.36	17375.88

G0: Modulo di deformazione al taglio;  
Ed: Modulo edometrico;  
M0: Modulo di compressibilità volumetrica;  
Ey: Modulo di Young;



■ XY = 1, Deviazione standard = 0.0045    ▲ XY = 3, Deviazione standard = 0.00434    ○ XY = 6, Deviazione standard = 0.00393  
 ● XY = 9, Deviazione standard = 0.00394    □ XY = 12, Deviazione standard = 0.00319    ○ XY = 15, Deviazione standard = 0.00319  
 △ XY = 18, Deviazione standard = 0.00306    ○ XY = 21, Deviazione standard = 0.00291



■ XY = 0, Rugosità = 0.006695    ● XY = 3, Rugosità = 0.00627    ○ XY = 6, Rugosità = 0.006733    ○ XY = 9, Rugosità = 0.006841  
 ○ XY = 12, Rugosità = 0.006659    ○ XY = 15, Rugosità = 0.006576    ○ XY = 18, Rugosità = 0.006441    ○ XY = 21, Rugosità = 0.006383

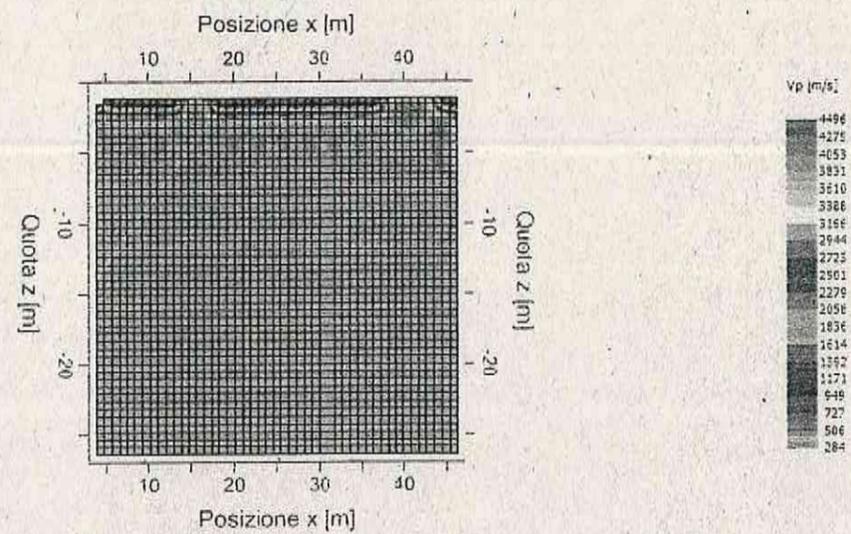
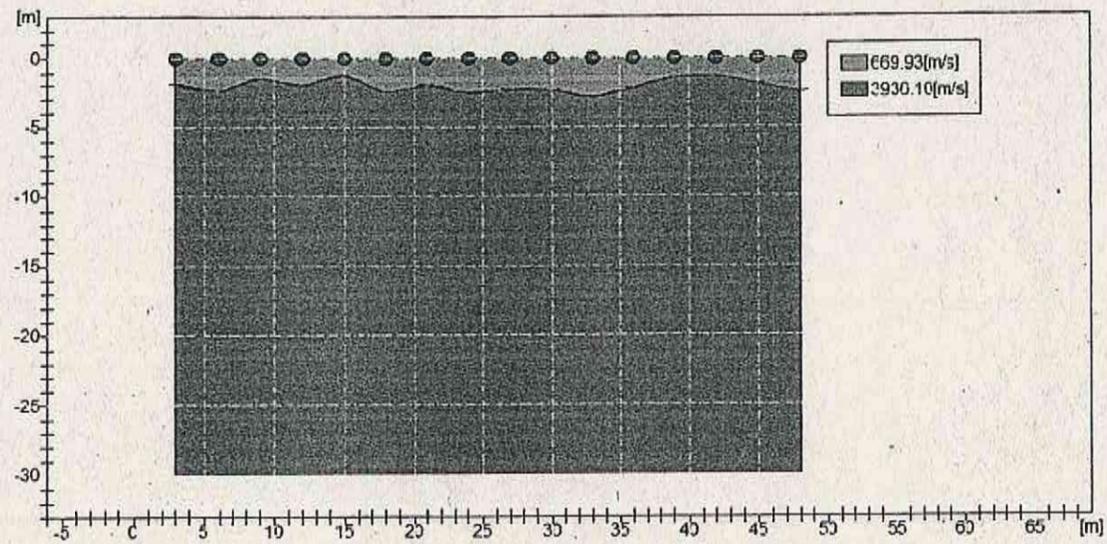




Foto Stendimento Sismica a Rifrazione Rz2

STUDIO

**ALLEGATO IV**  
**PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE LEGGERE**

SITO

COMUNE DI PALERMO (PA)

VISTO

OGGETTO

RIDETERMINAZIONE URBANISTICA PER DECADENZA VINCOLI ESPROPRIATIVI,  
DI UN AREA IDENTIFICATA IN CATASTO AL FG. 74 PARTICELLA 946, NEL  
COMUNE DI PALERMO.

COMMITTENTE

OFIM S.p.A

DATA

01/07/2019

PROFESSIONISTA

Dott. Geologo Marcello Militello

Ordine Regionale dei Geologi di Sicilia  
Dott. Geol. Militello Marcello  
N. 2809 Sez. A

ALLEGATI

REGIONE SICILIANA  
**Comune di Palermo**

Tipo di Documento:

**Relazione Indagini Geognostiche**

Oggetto:

**Rideterminazione Urbanistica per Decadenza Vincoli Espropriativi  
su un'area identificata in catasto al Fg. 74 Part. 946  
Indagini Geognostiche - Prove DPM**

Località:  
via Buonriposo; Palermo (PA)

Data Consegna:  
Giugno 2019

Data Revisione:

Redatto: il Tecnico  
*Geol. Rosario Fria*

Impresa Esecutrice:

ALLEGATO 01/01

VISTI E PARERI

Verificato: il direttore tecnico  
*Geol. Alfonso Spera*

Il Committente:  
*Dott. Marcello Militello*



Geoproject srl  
C.da Crete Ferrigna, s.n.c. - 90029 Valledolmo (PA)-tel:0915640657  
e-mail:info@geoprojectsrl.eu web site: www.geoprojectsrl.eu  
P.IVA:057147100828 Iscrizione CCIAA - R.E.A. 272167

## INDICE

Premessa.....	pag. 1
1) Prove penetrometriche DPM.....	pag. 1
1.1) Risultati delle prove.....	pag. 2
1.2) Elaborazione e valutazione dei risultati.....	pag. 2

### -ALLEGATI

- Diagrammi prove penetrometriche dinamiche
- Appendice
- Documentazione fotografica

### **Premessa**

La presente relazione, redatta su incarico della *Dott. Marcello Militello*, riferisce sulle risultanze di una campagna di indagini geognostiche, realizzata, dalla scrivente Impresa *Geoproject s.r.l.*, a supporto del progetto per la *Rideterminazione urbanistica per decadenza dei vincoli espropriativi su un'area identificata in catasto al Fg. 74 part. 946*; l'area ricade all'interno del centro urbano di Palermo in via Buonriposo, ed è individuabile alle coordinate geografiche (WGS84):

Lat.: 38° 06' 06" N.      Long.: 13° 22' 26" E.

Il piano di indagini in fase esecutiva ha visto la realizzazione di n° 4 prove penetrometriche dinamiche tipo DPM; tutte le prove sono state realizzate in data 24/06/2019.

#### **1) Prove Penetrometriche DPM**

Le prove, ubicate come da planimetria allegata alla relazione geologica sono state denominate con le sigle *DP1*, *DP2*, *DP3* e *DP4*.

Il tipo di prova eseguito, (denominate DPM e codificate ISSMFE) consiste nell'infiggere nel terreno delle aste a sezione circolare ( $\varnothing = 22$  mm) di acciaio, della lunghezza di 1 metro e prolungabili. All'estremità inferiore dell'asta viene collocata una punta conica (sezione max: 15 cm<sup>2</sup>; angolo di taglio  $\alpha = 60^\circ$ ) che, avendo una sezione maggiore rispetto alle aste, avrà la funzione di aprire ed approfondire un foro, riducendo l'attrito aste-terreno al minimo.

L'energia per l'infissione viene fornita dai colpi di un maglio (peso: 30 kg.) che viene fatto scorrere lungo un cursore con altezza di caduta costante (20 cm).

Ogni 10 cm. si registrano su un grafico i colpi che sono stati necessari per approfondire la punta ( $N_{10}$ ); maggiore è il numero di colpi per attraversare i 10 cm, più elevata sarà la consistenza del terreno indagato. Dall'analisi dei diagrammi numero di colpi alla punta " $N_{10}$ /profondità" è possibile effettuare una distinzione meccanica dei terreni.

Per la realizzazione delle prove è stato utilizzato un penetrometro medio-leggero carrellato (*Sunda-Pagani DL030*).

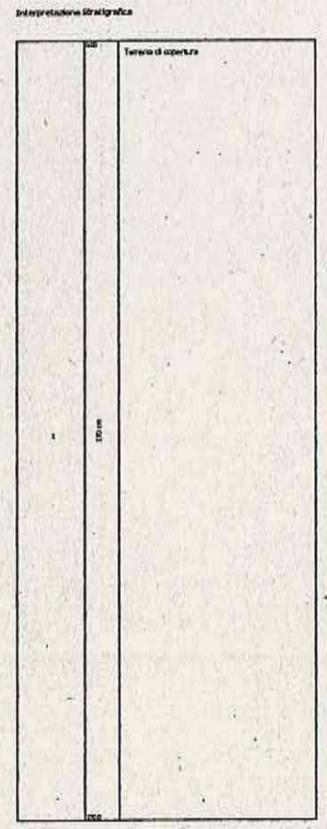
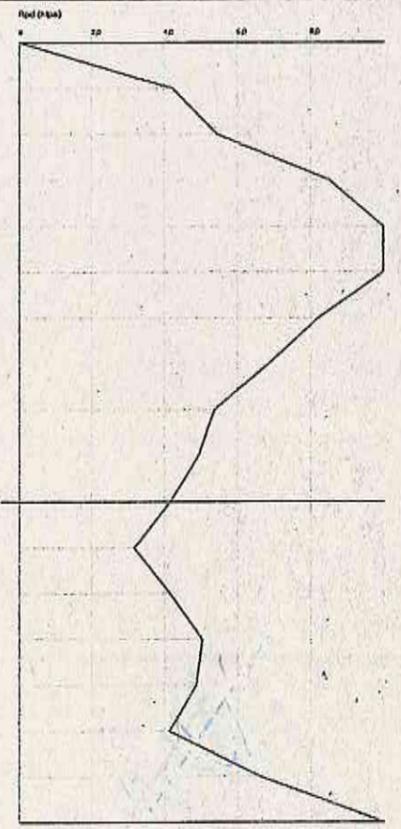
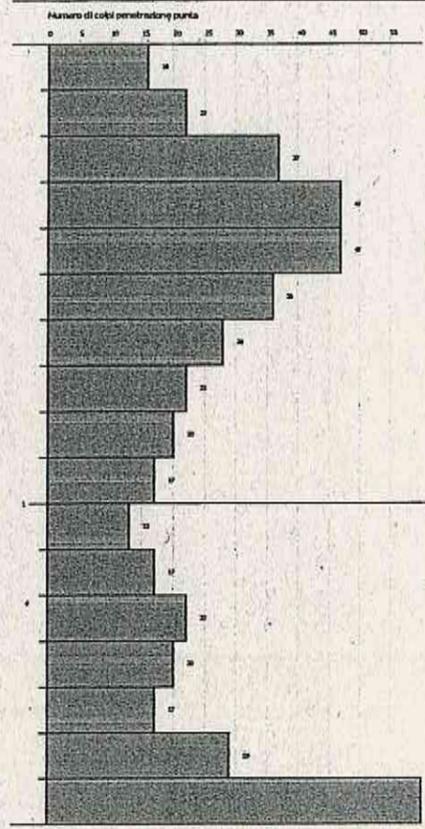
PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DP1  
Strumento utilizzato: DPM (DL030 30) (Medium)  
DIAGRAMMA NUMERO COLPI PUNTA-Rsp

Committente:  
Cantiera:  
Località:

Dr. Mirko Marallo  
Via Buzzareschi  
Palermo

Data: 24/02/2019

Scala: 1:1

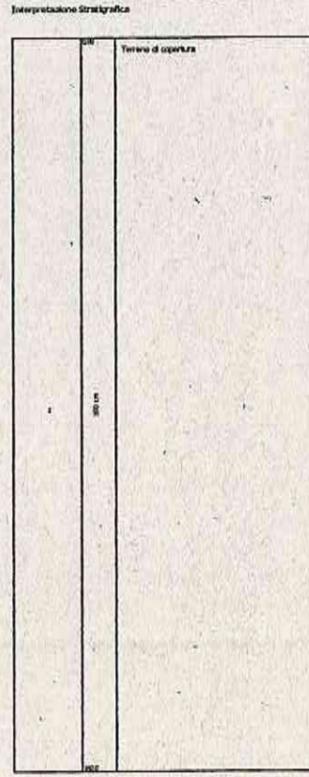
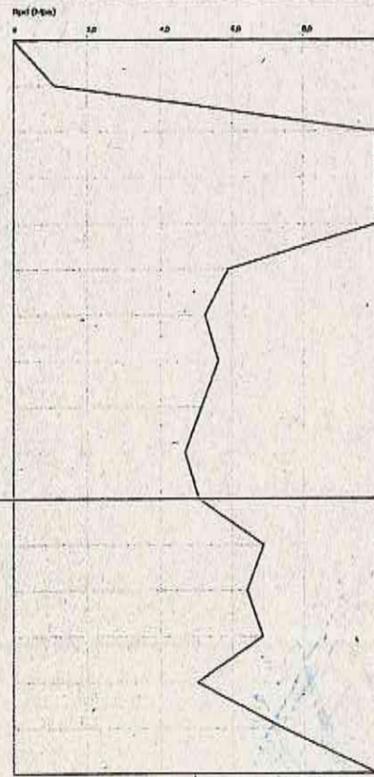
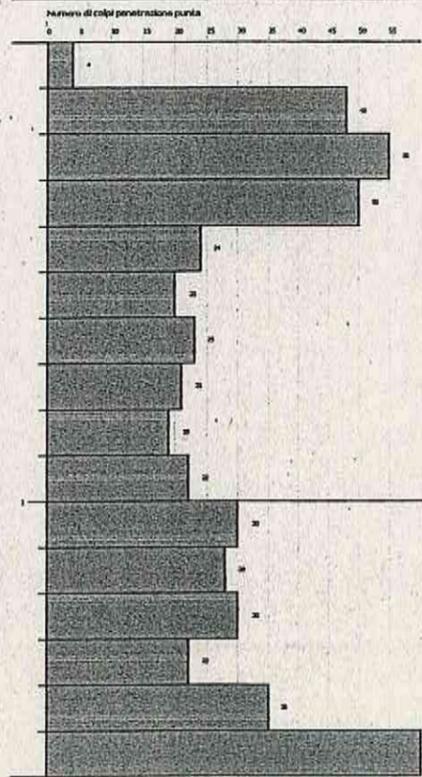


PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DP2  
Sivestri s.p.a. - DPH (DL38 18) (Mediana)  
DIAGRAMMA NUMERO COLPI PUNTA-Rpd

Commissario: Dr. G. Di Stefano  
Caricatore: M. Di Stefano  
Località: Palermo

Data: 13/05/2009

Scala: 1:10

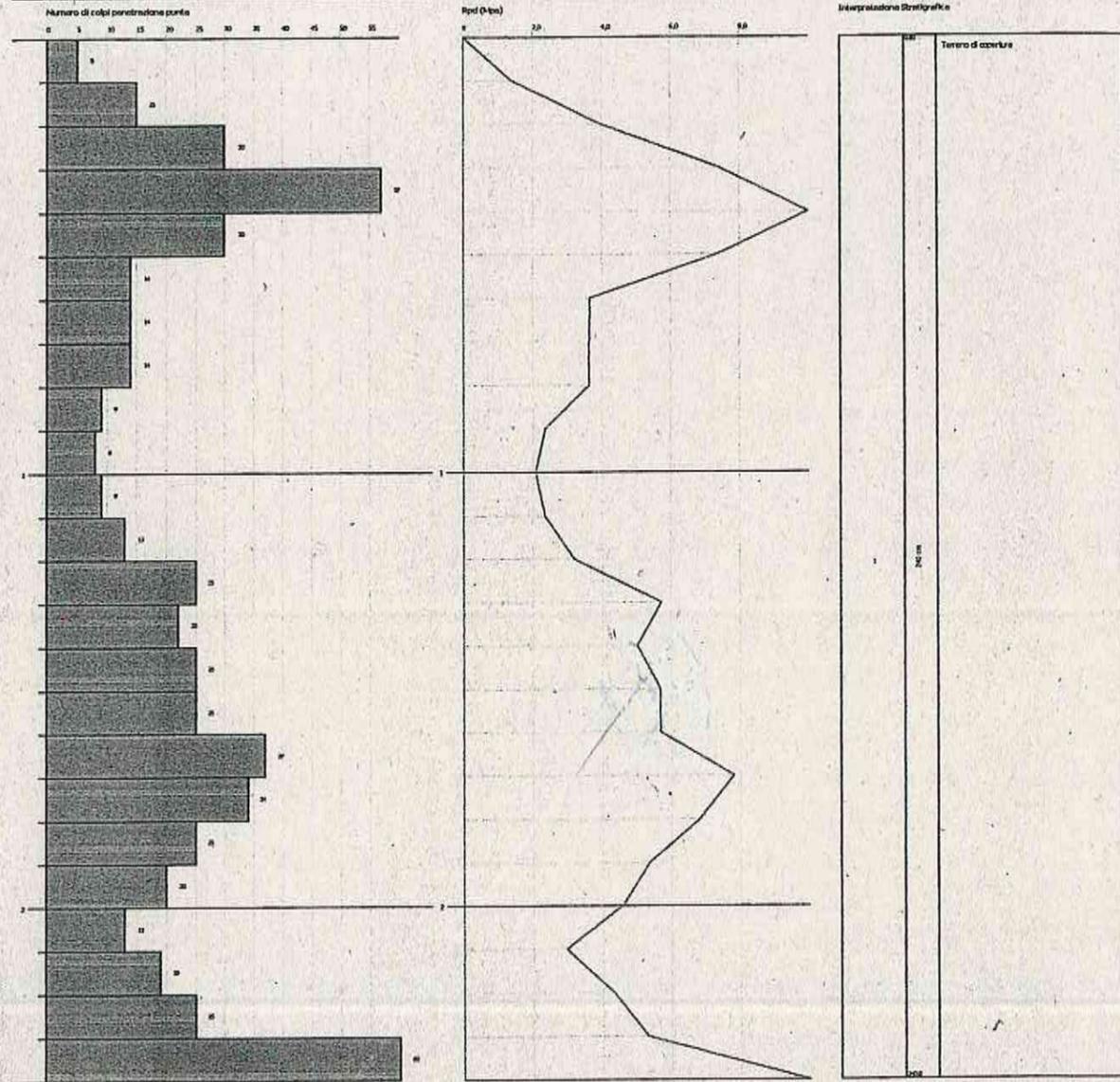


PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DPM  
Strumento utilizzato: DPM (DL636 18) (Medusa)  
DIAGRAMMA NUMERO COLPI PUNTA-Rpd

Committente: Dr. Mirko Marcollo  
Caricatore: M. Bazzano  
Località: Padova

Data: 24/05/2019

Scala: 1:15

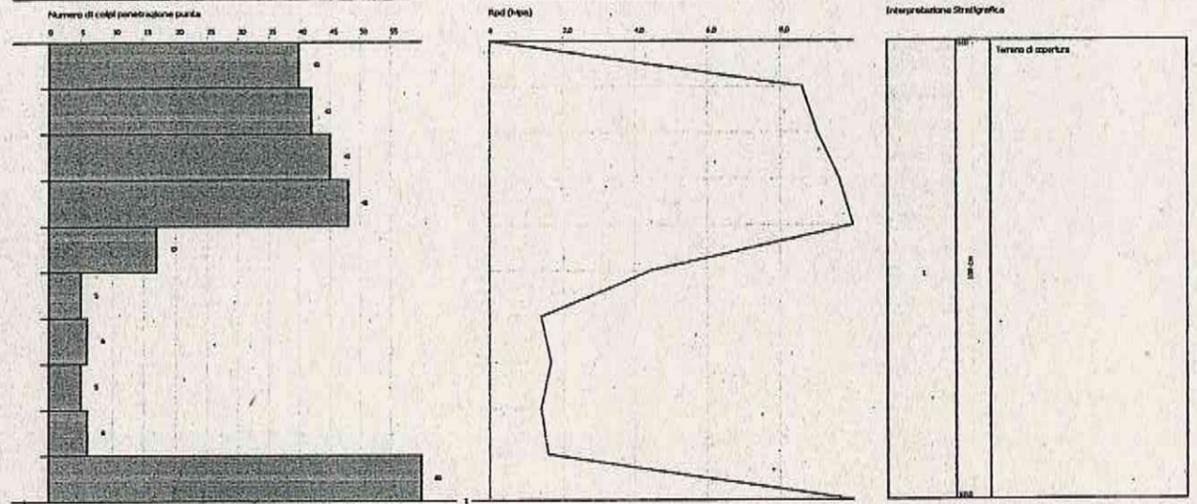


PROVA PERETROMETRICA DINAMICA DP4  
Strumento di misura: DPM (DL030 10) (Mediam)  
DIAGRAMMA NUMERO COLPI PUNTA-Rpd

Comitente: Dr. Michele Marcellò  
Cantieri: via S. Giovanni  
LUGLIA: Palermo

Data: 24/02/2019

Scala: 1:10



## APPENDICE

### Correlazioni geotecniche considerate

#### Terreni incoerenti

##### - Angolo di Attrito

Peck-Hanson-Thomum-Meyerhof 1956 - Correlazione valida per terreni non molli a prof. < 5 mt.; correlazione valida per sabbie e ghiaie rappresenta valori medi. - Correlazione storica molto usata, valevole per prof. < 5 mt. per terreni sopra falda e < 8 mt. per terreni in falda (tensioni < 8-10 t/mq)

Meyerhof 1956 - Correlazioni valide per terreni argillosi ed argillosi-marnosi fessurati, terreni di riporto sciolti e coltri detritiche (da modifica sperimentale di dati).

Sowers 1961 - Angolo di attrito in gradi valido per sabbie in genere (cond. ottimali per prof. < 4 mt. sopra falda e < 7 mt. per terreni in falda) s > 5 t/mq.

De Mello - Correlazione valida per terreni prevalentemente sabbiosi e sabbioso-ghiaiosi (da modifica sperimentale di dati) con angolo di attrito < 38°.

Malcev 1964 - Angolo di attrito in gradi valido per sabbie in genere (cond. ottimali per prof. > 2 m. e per valori di angolo di attrito < 38°).

Schmertmann 1977 - Angolo di attrito (gradi) per vari tipi litologici (valori massimi). N.B. valori spesso troppo ottimistici poiché desunti da correlazioni indirette da Dr %.

Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION) - Angolo di attrito in gradi valido per sabbie - sabbie fini o limose e limi siltosi (cond. ottimali per prof. di prova > 8 mt. sopra falda e > 15 mt. per terreni in falda) s > 15 t/mq.

Shioi-Fukuni 1982 (JAPANESE NATIONALE RAILWAY) - Angolo di attrito valido per sabbie medie e grossolane fino a ghiaiose.

Owasaki & Iwasaki - valido per sabbie - sabbie medie e grossolane-ghiaiose (cond. ottimali per prof. > 8 mt. sopra falda e > 15 mt. per terreni in falda) s > 15 t/mq.

Meyerhof 1965 - Correlazione valida per terreni per sabbie con % di limo < 5% a profondità < 5 mt. e con % di limo > 5% a profondità < 3 mt.

Mitchell e Katti (1965) - Correlazione valida per sabbie e ghiaie.

##### - Stato di consistenza

Classificazione A.G.I. 1977

#### Terreni coesivi

##### - Coesione non drenata

Benassi & Vannelli - correlazioni scaturite da esperienze ditta costruttrice Penetrometri SUNDA 1983.

Terzaghi-Peck (1948-1967) - correlazione valida per argille sabbiose-siltose NC con  $N_{spt} < 8$ , argille limose-siltose mediamente plastiche, argille marnose alterate-fessurate.

Terzaghi-Peck (1948).  $C_u$  min-max.

Sanglerat - da dati Penetr. Statico per terreni coesivi saturi, tale correlazione non è valida per argille sensitive con sensitività > 5, per argille sovraconsolidate fessurate e per i limi a bassa plasticità.

Sanglerat - (per argille limose-sabbiose poco coerenti), valori validi per resistenze penetrometriche < 10 colpi, per resistenze penetrometriche > 10 l'elaborazione valida è comunque quella delle "argille plastiche" di Sanglerat.

(U.S.D.M.S.M.) U.S. Design Manual Soil Mechanics - Coesione non drenata per argille limose e argille di bassa media ed alta plasticità, (Cu-Nspt-grado di plasticità).

Schmertmann 1975 - Cu (Kg/cmq) (valori medi), valida per argille e limi argillosi con Nc=20 e Qc/Nspt=2.

Schmertmann 1975 - Cu (Kg/cmq) (valori minimi), valida per argille NC.

Fletcher 1965 - (Argilla di Chicago) - Coesione non drenata Cu (Kg/cmq), colonna valori validi per argille a medio-bassa plasticità.

Houston (1960) - argilla di media-alta plasticità.

Shioi-Fukuni 1982 - valida per suoli poco coerenti e plastici, argilla di media-alta plasticità.

Begemann.

De Beer.

- **Resistenza alla punta del Penetrometro Statico (Qc)**

Robertson 1983 Qc

- **Modulo Edometrico-Confinato (M)**

Stroud e Butler (1975) - per litotipi a media plasticità, valida per litotipi argillosi a media-medio-alta plasticità

Stroud e Butler (1975) - per litotipi a medio-bassa plasticità (IP < 20), valida per litotipi argillosi a medio-bassa plasticità (IP < 20) - da esperienze su argille glaciali.

Vesic (1970) - correlazione valida per argille molli (valori minimi e massimi).

Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner - Modulo Confinato Mo (Eed) (Kg/cmq), valida per litotipi argillosi e limosi-argillosi (rapporto Qc/Nspt=1.5-2.0).

Buisman - Sanglerat - valida per argille compatte (Nspt < 30) medie e molli (Nspt < 4) e argille sabbiose (Nspt=6/12).

- **Modulo Di Young (E<sub>y</sub>)**

Schultze-Menzenbach - (Min. e Max.), correlazione valida per limi coerenti e limi argillosi con I.P. > 15

D'Appollonia ed altri (1983) - correlazione valida per argille sature-argille fessurate.

- **Stato di consistenza**

Classificazione A.G.I. 1977

- **Peso di Volume Gamma**

Meyerhof ed altri - valida per argille, argille sabbiose e limose prevalentemente coerenti.

- **Peso di volume saturo**

Correlazione Bowles (1982), Terzaghi-Peck (1948-1967) - valida per condizioni specifiche: peso specifico del materiale pari a circa G=2,70 (t/mc) e per indici dei vuoti variabili da 1,833 (Nspt=0) a 0,545 (Nspt=28)

**STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA DPI**

*Tabelle riepilogative con le principali correlazioni usate*

**Coesione non drenata**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Cu (KPa)
Strato 1	26	0,60	Sanglerat	-----
Strato 2	14,97	1,70	Sanglerat	97,67

**Qc ( Resistenza punta Penetrometro Statico)**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Qc (Mpa)
Strato 1	26	0,60	Robertson (1983)	5,10
Strato 2	14,97	1,70	Robertson (1983)	2,94

**Modulo Edometrico**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Eed (Mpa)
Strato 1	26	0,60	Buisman-Sanglerat	-----
Strato 2	14,97	1,70	Buisman-Sanglerat	11,01

**Modulo di Young**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Ey (Mpa)
Strato 1	26	0,60	Schultze-Menzenbach	-----
Strato 2	14,97	1,70	Schultze-Menzenbach	14,88

**Classificazione AGI**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
Strato 1	26	0,60	Classificaz. A.G.I. (1977)	MOLTO CONSIST.
Strato 2	14,97	1,70	Classificaz. A.G.I. (1977)	CONSISTENTE

**Peso unità di volume**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (KN/m³)
Strato 1	26	0,60	Meyerhof ed altri	-----
Strato 2	14,97	1,70	Meyerhof ed altri	20,30

**Angolo di resistenza al taglio**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato 1	26	0,60	26	Shioi-Fukuni (1982)	-----
Strato 2	14,97	1,70	14,97	Shioi-Fukuni (1982)	29,98

**STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA DP2**

Tabelle riepilogative con le principali correlazioni usate

**Coesione non drenata**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Cu (KPa)
Strato 1	29,87	0,40	Sanglerat	-----
Strato 2	18,19	1,60	Sanglerat	118,66

**Qc ( Resistenza punta Penetrometro Statico)**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Qc (Mpa)
Strato 1	29,87	0,40	Robertson (1983)	5,86
Strato 2	18,19	1,60	Robertson (1983)	3,57

**Modulo Edometrico**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Eed (Mpa)
Strato 1	29,87	0,40	Buisman-Sanglerat	-----
Strato 2	18,19	1,60	Buisman-Sanglerat	13,38

**Modulo di Young**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Ey (Mpa)
Strato 1	29,87	0,40	Schultze-Menzenbach	-----
Strato 2	18,19	1,60	Schultze-Menzenbach	18,51

**Classificazione AGI**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
Strato 1	29,87	0,40	Classificaz. A.G.I. (1977)	MOLTO CONSIST
Strato 2	18,19	1,60	Classificaz. A.G.I. (1977)	MOLTO CONSIST

**Peso unità di volume**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (KN/m³)
Strato 1	29,87	0,40	Meyerhof ed altri	-----
Strato 2	18,19	1,60	Meyerhof ed altri	20,50

**Angolo di resistenza al taglio**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato 1	29,87	0,40	29,87	Shioi-Fukuni (1982)	-----
Strato 2	18,19	1,60	18,19	Shioi-Fukuni (1982)	31,52

**STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA DP3**

Tabelle riepilogative con le principali correlazioni usate

**Coesione non drenata**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Cu (KPa)
Strato 1	20,85	0,50	Sanglerat	-----
Strato 2	13,32	2,40	Sanglerat	86,89

**Qc ( Resistenza punta Penetrometro Statico)**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Qc (Mpa)
Strato 1	20,85	0,50	Robertson (1983)	4,09
Strato 2	13,32	2,40	Robertson (1983)	2,61

**Modulo Edometrico**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Eed (Mpa)
Strato 1	20,85	0,50	Buisman-Sanglerat	-----
Strato 2	13,32	2,40	Buisman-Sanglerat	9,8

**Modulo di Young**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Ey (Mpa)
Strato 1	20,85	0,50	Schultze-Menzenbach	-----
Strato 2	13,32	2,40	Schultze-Menzenbach	13,02

**Classificazione AGI**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
Strato 1	20,85	0,50	Classificaz. A.G.I. (1977)	MOLTO CONSIST.
Strato 2	13,32	2,40	Classificaz. A.G.I. (1977)	CONSISTENTE

**Peso unità di volume**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (KN/m³)
Strato 1	20,85	0,50	Meyerhof ed altri	-----
Strato 2	13,32	2,40	Meyerhof ed altri	20,01

**Angolo di resistenza al taglio**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato 1	20,85	0,50	20,85	Shioi-Fukumi (1982)	-----
Strato 2	13,32	2,40	13,32	Shioi-Fukumi (1982)	29,14

**STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA DP4**

Tabelle riepilogative con le principali correlazioni usate

**Coesione non drenata**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Cu (KPa)
Strato 1	29,22	0,50	Sanglerat	-----
Strato 2	4,19	1,00	Sanglerat	27,36

**Qc ( Resistenza punta Penetrometro Statico)**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Qc (Mpa)
Strato 1	29,22	0,50	Robertson (1983)	5,73
Strato 2	4,19	1,00	Robertson (1983)	0,82

**Modulo Edometrico**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Eed (Mpa)
Strato 1	29,22	0,50	Buisman-Sanglerat	-----
Strato 2	4,19	1,00	Buisman-Sanglerat	2,05

**Modulo di Young**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Ey (Mpa)
Strato 1	29,22	0,50	Schultze-Menzenbach	-----
Strato 2	4,19	1,00	Schultze-Menzenbach	2,72

**Classificazione AGI**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
Strato 1	29,22	0,50	Classificaz. A.G.I. (1977)	MOLTO CONSIST.
Strato 2	4,19	1,00	Classificaz. A.G.I. (1977)	MODERAT. CONSIST.

**Peso unità di volume**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (KN/m³)
Strato 1	29,22	0,50	Meyerhof ed altri	-----
Strato 2	4,19	1,00	Meyerhof ed altri	16,77

**Angolo di resistenza al taglio**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato 1	29,22	0,50	29,22	Shioi-Fukuni (1982)	-----
Strato 2	4,19	1,00	4,19	Shioi-Fukuni (1982)	22,93

*DOCUMENTAZIONE*

*FOTOGRAFICA*

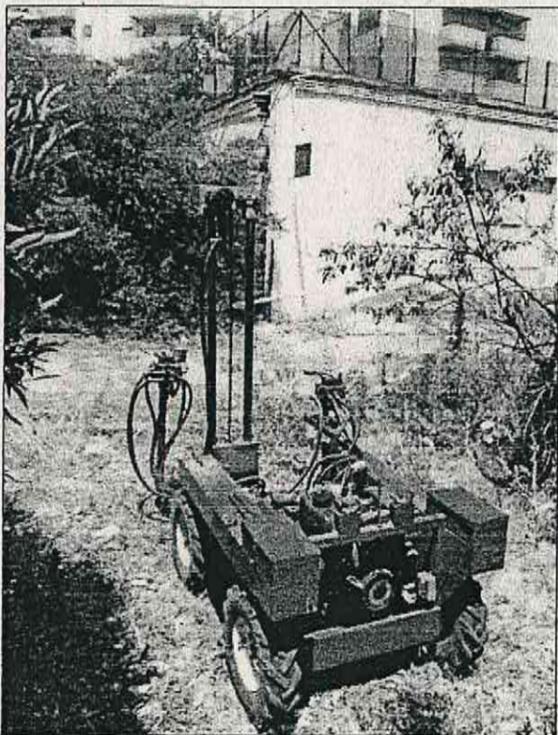


Foto 1: Prova penetrometrica DP1

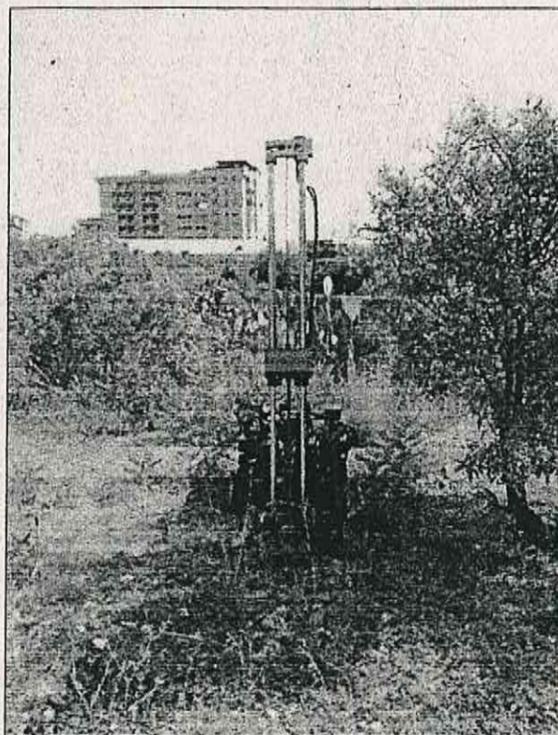


Foto 2: Prova penetrometrica DP2

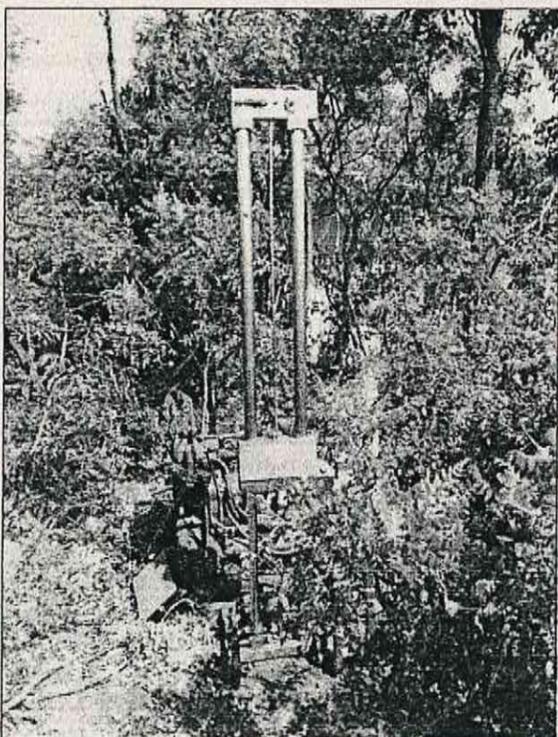


Foto 3: Prova penetrometrica DP3



Foto 4: Prova penetrometrica DP4