



IL DIRIGENTE AREA URBANISTICA
ARCH. FRANCESCO GIANFERRINI

P.O. RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO
(ARCH. FRANCESCO PATRUNO)

23/26

Dott. Geol. Riccardo LOSITO, Via A. Vespucci 6-8 - 76123 ANDRIA (BA). Tel. Fax. 0883 - 559895.
Cell. 329 - 7877047 e-mail losito.riccardo58@gmail.com



COMUNE DI TRANI

PROGETTO DI PIANO URBANISTICO ESECUTIVO (P.U.E.)
PER LA REALIZZAZIONE DI EDIFICI PER CIVILE ABITAZIONE UBICATI IN
TRANI TRA LA VIA MALCANGI E IL LUNGOMARE C. COLOMBO
STUDIO DI FATTIBILITA'

Maglla Bs.ad./40

RELAZIONE GEOLOGICA GEOMORFOLOGICA GEOTECNICA IDROGEOLOGICA

(ai sensi delle NTC 2018 - D.P.R. 380/2001)



COMMITENZA:

Sig. PISTONE Franco

Sig. ROBERTO Giovanni

SOCIETÀ EDILNOVA di DI NOIA Michele & C.

Sig. Stallone Giuseppe

ANDRIA OTTOBRE 2019



IL DIRIGENTE AREA URBANISTICA
ARCH. FRANCESCO GIANFERRINI



SOMMARIO

PREMESSA	3
INQUADRAMENTO GENERALE. GEOLOGIA MORFOLOGIA IDROGEOLOGIA.....	9
INDAGINE GEOLOGICA. MODELLO GEOLOGICO DEL SOTTOSUOLO	13
MODELLAZIONE SISMICA DI BASE.....	16
MODELLO GEOTECNICO DI BASE DEL SOTTOSUOLO	18
CONCLUSIONI	21
APPENDICE INDAGINI.....	23
INDAGINE SISMICA A RIFRAZIONE	24
METODOLOGIA.....	24
STRUMENTAZIONE UTILIZZATA E GEOMETRIA DELLA LINEA SISMICA	24
RISULTATI DELLE INDAGINI SISMICHE	27
MULTICHANNEL ANALYSIS OF SURFACE WAVES (MASW).....	31
CENNI METODOLOGICI.....	31
RISULTATI DELL'INDAGINE MASW	32
CALCOLO DELLA $V_{S-Equivalente}$. MODELLAZIONE SISMICA	35

PREMESSA

La presente relazione, redatta a seguito di incarico conferitomi dal Dr. Arch. Giuseppe Dangelo, per conto dei signori PISTONE Franco, ROBERTO Giovanni, Stallone Giuseppe e la SOCIETÀ EDILNOVA di DI NOIA Michele & C., è il risultato di uno studio geologico, geomorfologico, idrogeologico e geotecnico sul sottosuolo di un'area del centro abitato di Trani, compresa tra Via Malcangi e il Lungomare Cristoforo Colombo (Figg. 1, 2, 3), interessata da un progetto di Piano Urbanistico Esecutivo (Maglia Bs.ad./40). Il piano comprende la realizzazione di due corpi di fabbrica entrambi costituiti da piano interrato, piano terra e sei piani.

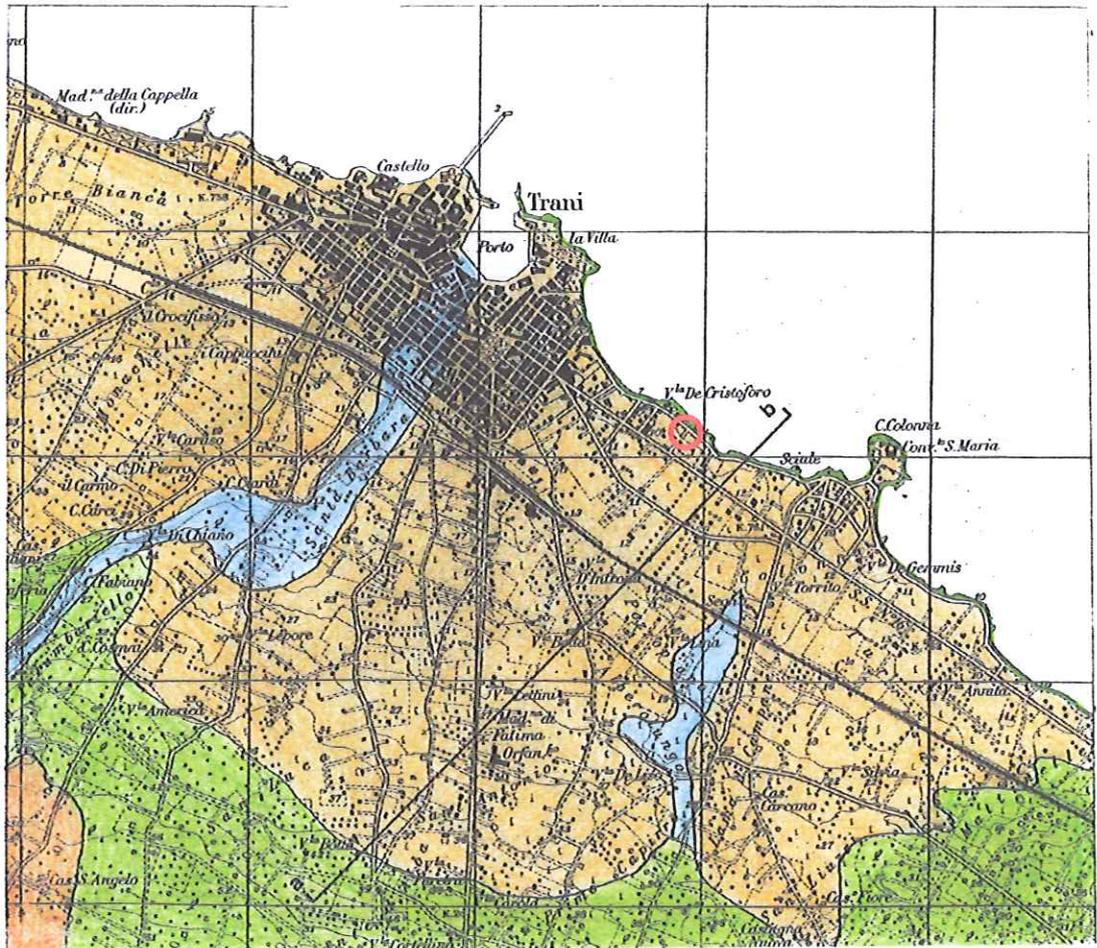
Lo studio si basa su una generale conoscenza della geologia della zona maturata dallo scrivente in occasione di precedenti interventi in zone contermini, e su una campagna di indagini geofisiche eseguite all'interno della maglia, ubicate come riportato in figura 4 e comprendenti:

- N. 2 linee sismiche a rifrazione sulla velocità di propagazione nel sottosuolo delle onde longitudinali (onde P);
- N. 1 linea sismica MASW ai sensi delle vigenti NTC 2018, sulla velocità di propagazione nel sottosuolo delle onde trasversali (onde S).

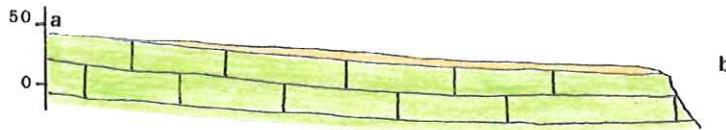
Le informazioni ricavate sia dallo studio geologico di superficie, che dai risultati delle indagini hanno permesso di valutare la fattibilità geologica, geomorfologica, idrogeologica e geotecnica del progetto di Piano Urbanistico Esecutivo.



STRAICIO DAL FOGLIO N. 176 DELLA CARTA GEOLOGICA D'ITALIA



SCALA 1: 25.000



-  Depositi alluvionali all'interno di depressioni carsiche. Attuali
-  Depositi limoso-argillosi di origine marina, terrazzati. *Post-Calabriano*
-  Calcarenite grossolana bioclastica ben cementata. "Calcarenite di Gravina". *Pliocene sup.*
-  Calcare e calcare dolomitico della formazione del "Calcare di Bari" *Cretaceo sup.*

FIG. 1

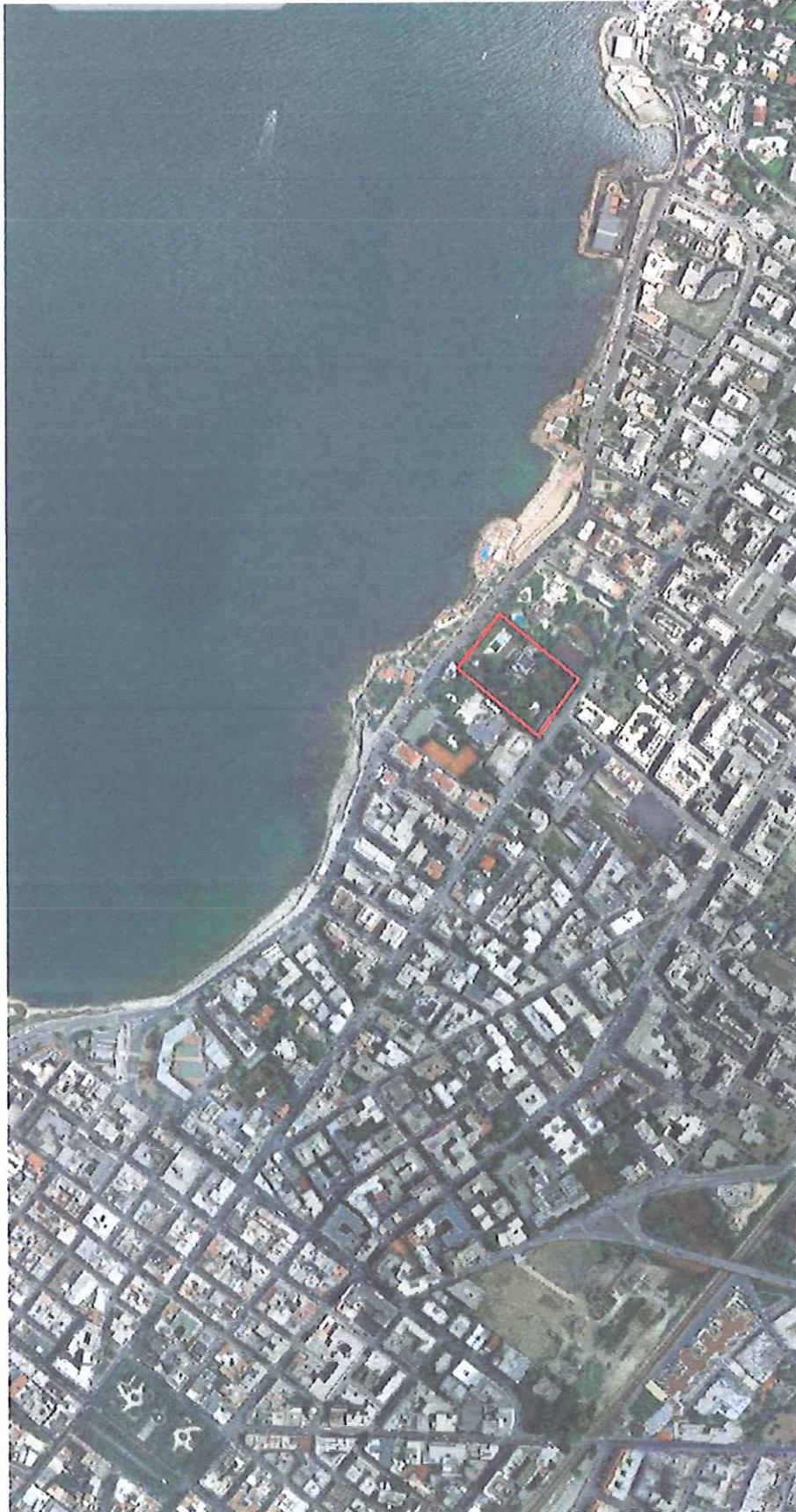


FIG. 2

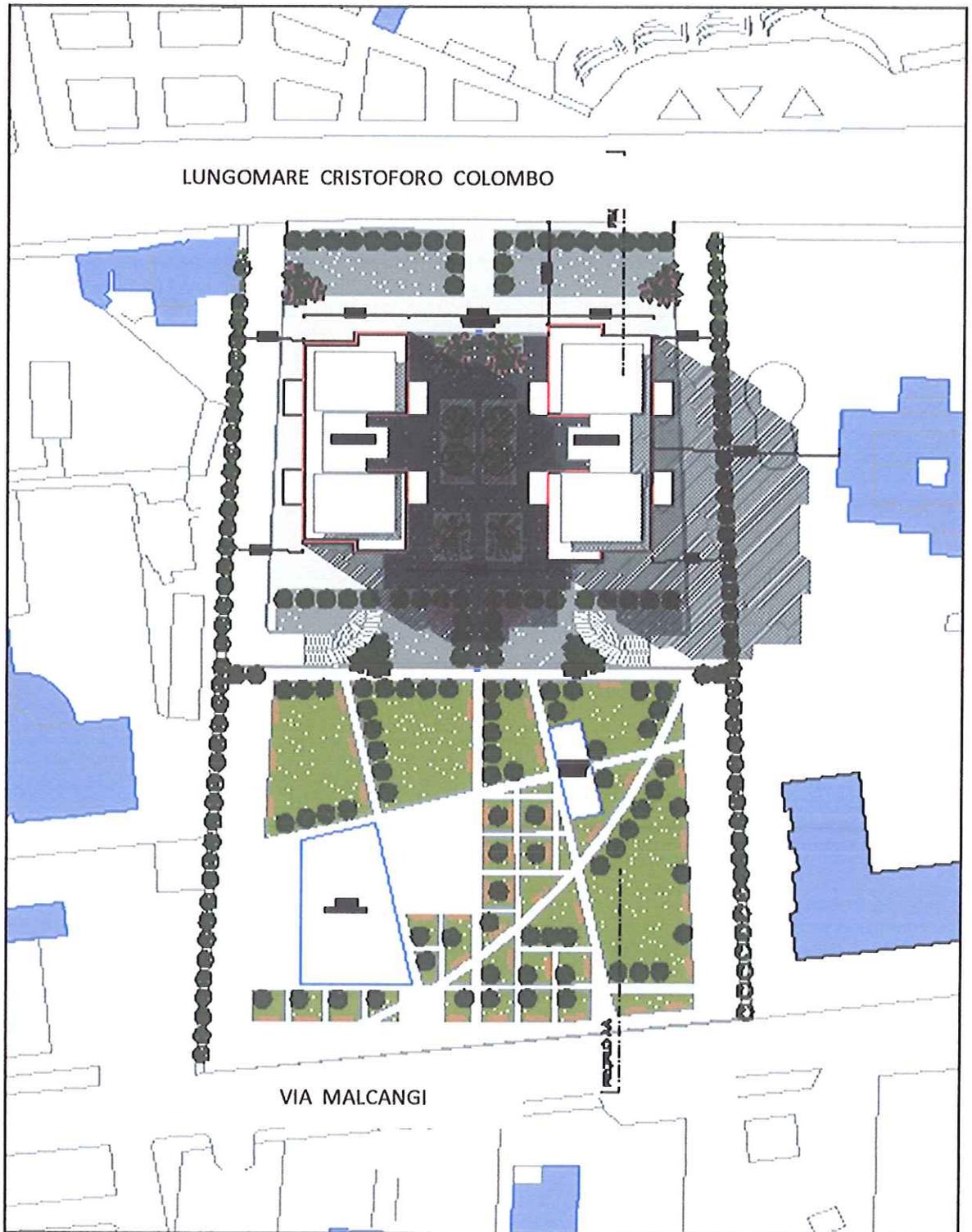


FIG. 3

UBICAZIONE DELLE INDAGINI GEOFISICHE

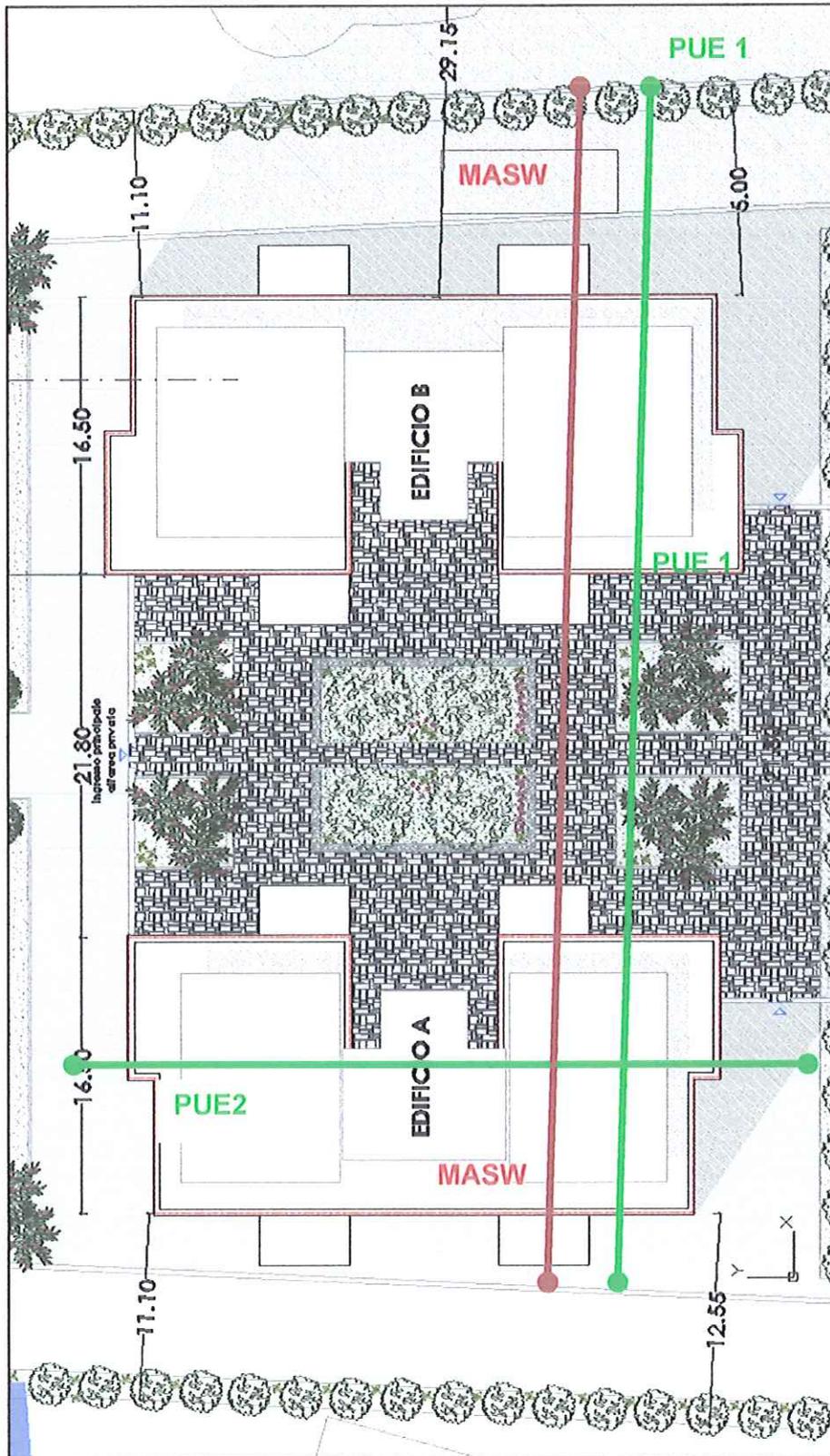


FIG. 4

INQUADRAMENTO GENERALE. GEOLOGIA MORFOLOGIA IDROGEOLOGIA

Il luogo interessato dall'intervento è posto nel territorio di Trani in via Malcangi lungo la strada statale che da Trani porta a Bisceglie, un'area posta a circa 1 Km a sud-est del centro abitato. L'area è intensamente urbanizzata con fabbricati costituiti quasi tutti da piano interrato e da due a sei piani fuori terra.

Dal punto di vista geomorfologico si è in un contesto pianeggiante posto a 10 m s.l.m e ad una distanza in linea d'aria di circa 100 m dalla linea di costa. In generale l'area in esame ricade in un contesto morfologico caratterizzato da ampi ripiani allungati quasi parallelamente alla linea di costa e posti a quote via via più basse verso il mare (Fig. 5). Detti ripiani, che si raccordano tramite scarpate solo a luoghi nette e ben riconoscibili, sono i resti di terrazzi marini riferibili a diversi e brevi cicli sedimentari trasgressivo-regressivi e sono costituiti da depositi terrigeni in facies costiera.

Dal punto di vista litologico, l'area è interessata in affioramento (Fig. 1) da una serie trasgressiva sabbioso-limosa, localmente argillosa, più o meno cementata con frequenti livelli fossiliferi, e riferibile al Pleistocene. Tali terreni si sono formati in un ambiente deposizionale caratterizzato da fondali marini estesi e poco profondi.

La serie terrigena ricopre il substrato calcareo-dolomitico riferibile per età al Cretaceo e riportata in letteratura col nome di "**Calcare di Bari**". Stratigraficamente gli strati, che sono visibili in affioramento lungo la linea di costa, appartengono alla parte inferiore del Calcare di Bari e si trovano nell'intervallo stratigrafico compreso tra il livello "Corato" e il sottostante livello "Andria". Trattasi di calcari in genere privi o poveri di dolomite, a struttura microcristallina, finemente detritici ed oolitici con ooliti di piccole dimensioni che contengono intercalazioni pelitiche, tali da costituire delle vere e proprie alternanze nei calcari, sia di natura carbonatica ($\text{CaCO}_3=91\div93\%$) che argilloso-marnosa ($\text{CaCO}_3=14\%$). Per quanto riguarda l'ambiente deposizionale, il litotipo descritto risulta essersi formato in ambiente di sedimentazione marino assai tipico, caratterizzato da estesi bassifondi, coperti da un'esigua lama d'acqua dello spessore non superiore a 200 m (ambiente di piattaforma).

Le formazioni citate si distinguono, oltre che per l'età e stato fisico, anche per un diverso tipo e grado di permeabilità.

Il "Calcare di Bari" presenta una permeabilità per fessurazione (permeabilità in grande) dovuta all'esistenza di una vera e propria rete, più o meno uniformemente diffusa, costituita sia da fratture di origine tettonica e carsica che dai giunti di stratificazione. Nell'area in esame i calcari sono dotati di un grado di permeabilità corrispondente a "Alta permeabilità".

La formazione quaternaria trasgressiva sabbioso-argillosa presenta una diffusa permeabilità per porosità ("permeabilità in piccolo") la cui entità dipende dalla percentuale di materiale fine presente e dal grado di cementazione. La formazione pleistocenica in esame è dotata di "Media permeabilità".

In merito alla tettonica, il rilievo geologico ha escluso nell'area dislocazioni di tipo disgiuntivo o plicativo; sono presenti invece pieghe ad ampio raggio.

Per quanto attiene la circolazione idrica sotterranea, la zona in esame si inserisce in un contesto più generale che interessa quanto meno tutta la Murgia nord-occidentale in cui l'acquifero carsico, costituito da rocce carbonatiche mesozoiche, presenta caratteri peculiari idrologici e idrochimici che scaturiscono unicamente dalle situazioni litologico--stratigrafiche, tettoniche e carsiche esistenti in profondità.

In questi calcari si stabilisce un' imponente falda idrica in pressione comunemente individuata come "falda profonda" per distinguerla da quelle superficiali aventi sedi nei terreni post-cretacei e prevalentemente in zone costiere. La falda profonda raccoglie le acque meteoriche, per la parte che non evapora e non defluisce superficialmente, provenienti da un bacino idrogeologico non delimitato, ma comunque molto ampio in quanto si spinge nell'entroterra sino ai rilievi murgiani. Si parla di "falda profonda" in quanto non circola a pelo libero o di poco al di sopra del livello marino, bensì in pressione e molto spesso a notevole profondità al di sotto del livello del mare. La pressione idraulica che da luogo ad una superficie piezometrica più in alto rispetto alla superficie fisica della falda, è dovuta alla presenza a varie profondità di livelli dolomitici che sono caratterizzati da un minore grado di fessurazione e perciò dotati di una scarsa permeabilità.

Di siffatta situazione in gran parte è responsabile il cospicuo innalzamento (100 m circa) che fino ad oggi il livello medio marino mostra di aver subito. Iniziato con la trasgressione flandriana e tuttora in atto, detto innalzamento ha costretto la falda a portarsi da acquiferi ben carsicizzati e fessurati verso acquiferi superiormente quasi impermeabili (livelli dolomitici), ed ha reso possibile la presenza a profondità diverse nella successione carbonatica, di orizzonti calcarei particolarmente permeabili per carsismo.

Per quanto si riferisce ai rapporti tra le acque di falda e quelle di mare, i dati che si posseggono e riportati nella bibliografia esistente, consentono di definire con certezza un rapporto diretto tra le acque di falda e quelle di mare solo in una ristretta fascia costiera, larga mediamente 4-5 Km ed in una zona ben definita e circoscritta situata ad occidente della congiungente Trani - Andria. In dette zone le acque di falda si adagiano in un delicato equilibrio idrodinamico sulle acque marine che per la presenza

di una vascolarizzazione carsica ipogea a luoghi molto sviluppata sono dotate di libertà di movimento da e verso il continente.

Nell'area di cui trattasi la falda si rinviene ad una profondità compresa tra -8 e -10 m dal piano campagna.

Inoltre in riferimento alle NTA del Piano di Assetto Idrogeologico (PAI) dell'AdB di Puglia attualmente vigente, l'area di cui trattasi non è inficiata da vincoli di pericolosità idraulica, né da vincoli di pericolosità geomorfologica, non si colloca all'interno delle "aree di modellamento attivo-area golenale", e nemmeno all'interno delle "aree di pertinenza fluviale" (Fig. 6).

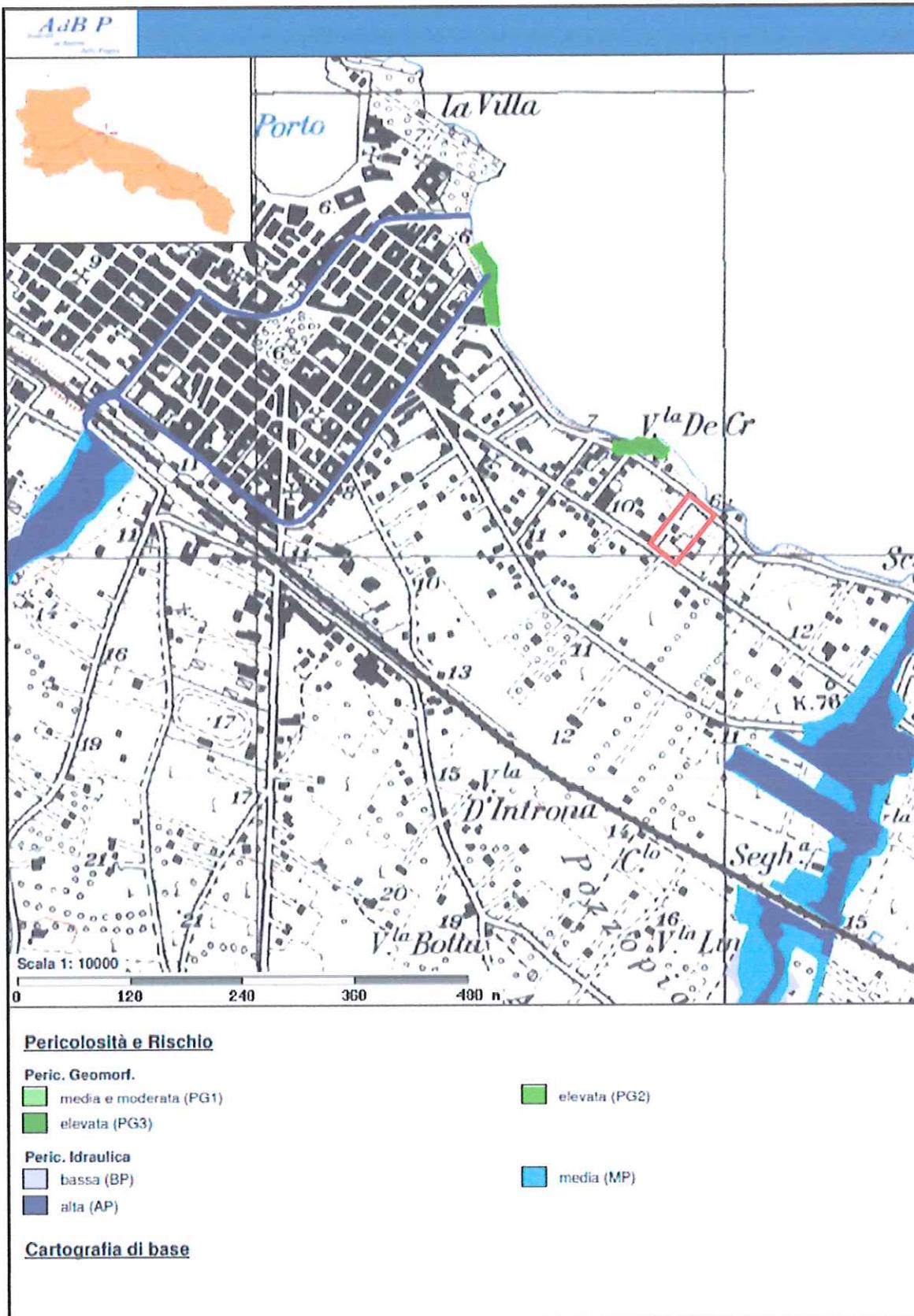


FIG. 6

INDAGINE GEOLOGICA. MODELLO GEOLOGICO DEL SOTTOSUOLO

Il progetto prevede la costruzione di due corpi di fabbrica ciascuno dotato di piano interrato, piano terra e sei piani.

Per la conoscenza diretta del sottosuolo si è fatto riferimento in primis ad una generale conoscenza della zona, maturata attraverso la ricognizione degli affioramenti visibili lungo la linea di costa e di scavi eseguiti in occasione di interventi di nuova costruzione. In particolare, lo scrivente in qualità di geologo incaricato, in passato ha avuto modo di visionare le pareti di uno scavo realizzato per la costruzione di palazzine all'interno di un'area adiacente a quella oggetto del presente intervento (ex proprietà Lalli - Foto 1, 2, 3).

Si è proceduto successivamente all'esecuzione di una campagna di indagini geofisiche ubicate come in figura 4 e consistita in:

- n. 2 linee sismiche a rifrazione sulla velocità di propagazione nel sottosuolo delle onde longitudinali (onde P);
- n. 1 linea sismica MASW ai sensi delle vigenti NTC 2018, sulla velocità di propagazione nel sottosuolo delle onde trasversali (onde S).



FOTO 1



FOTO 2

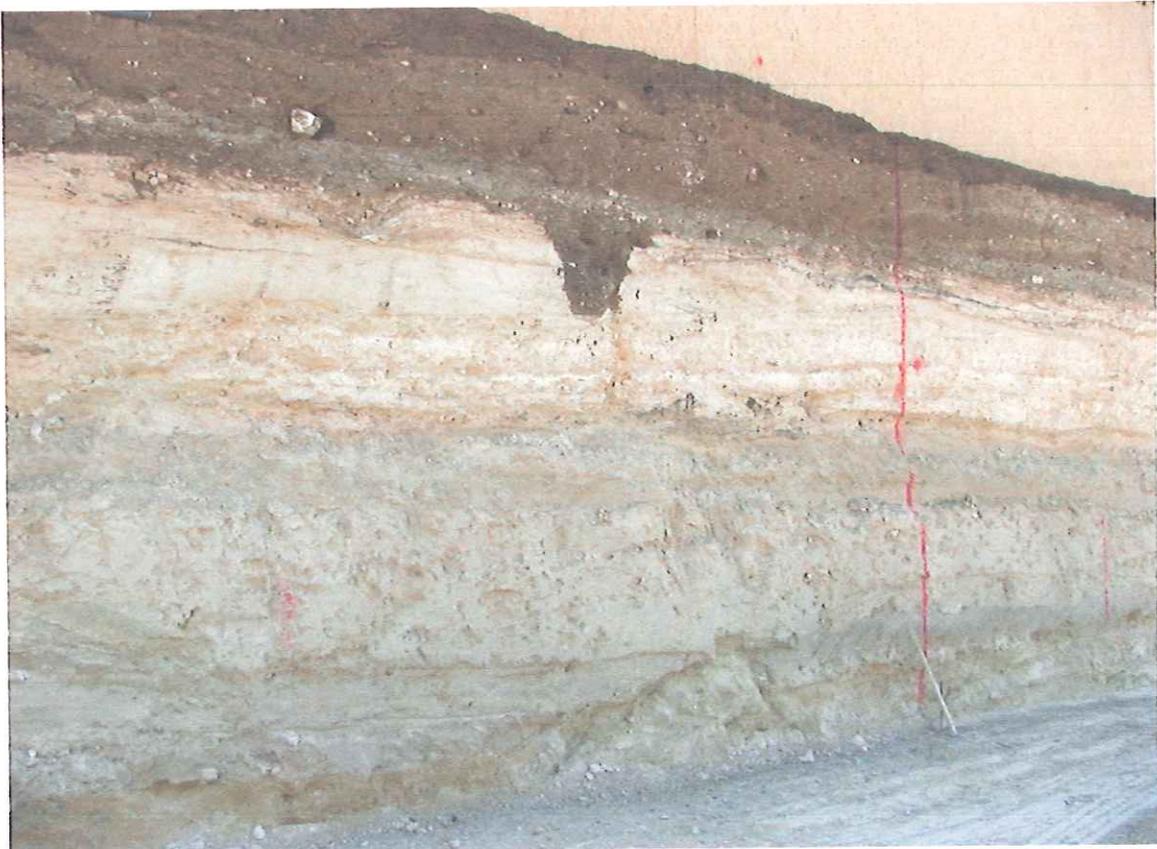


FOTO 3

Il rilevamento geologico di superficie, le informazioni attinte in loco e infine i risultati delle indagini geofisiche eseguite all'interno dell'area di sedime dei due corpi di fabbrica, consentono di ricostruire il modello geologico del sottosuolo riportato in figura 7.

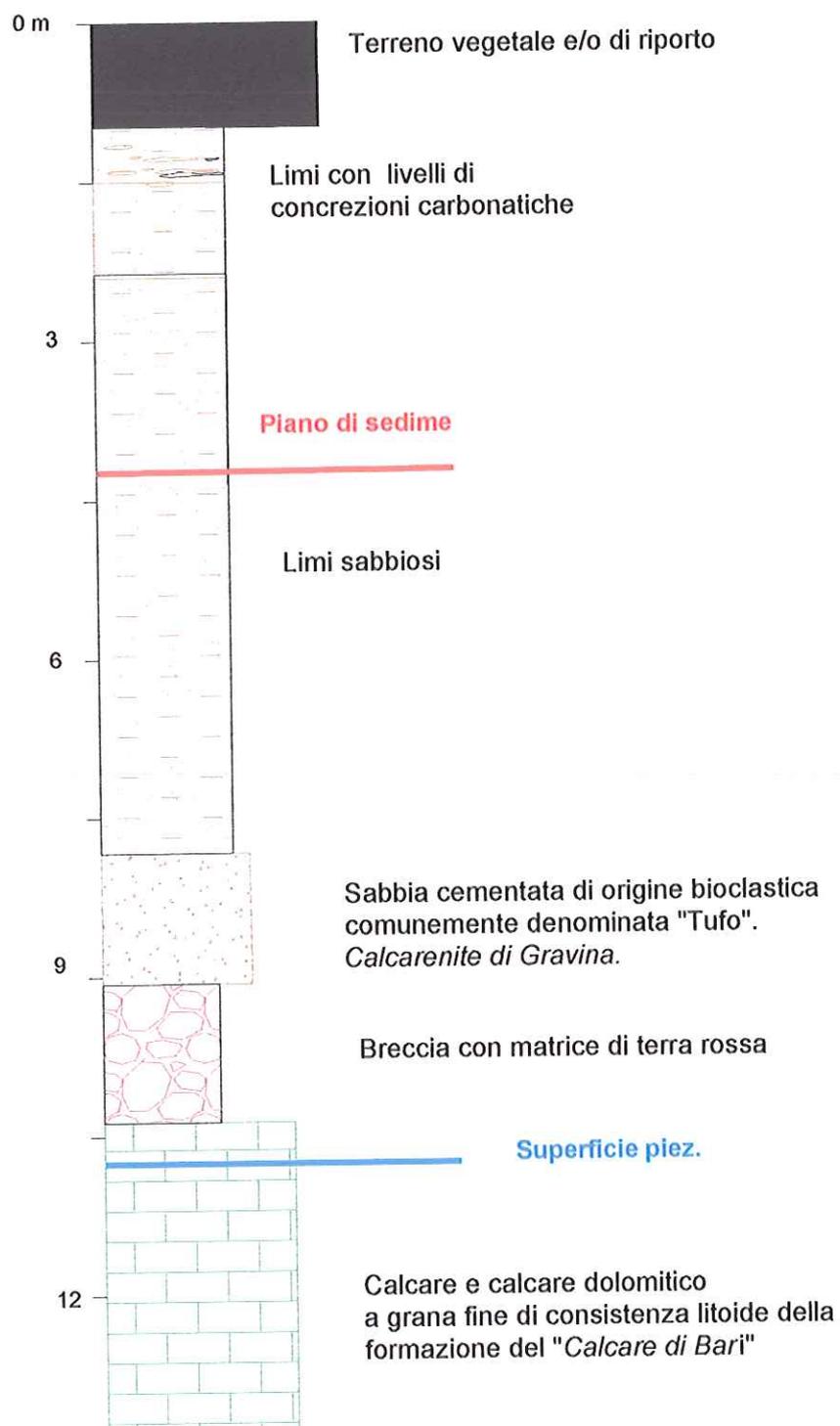


FIG. 7

MODELLAZIONE SISMICA DI BASE

In riferimento al paragrafo 3.2.2 delle NTC 2018, il basamento rigido è rappresentato nel caso in questione dal calcare ($V_S \sim 1600$ m/s), che si trova ad una profondità intorno a 10 m dal piano di strada. Tenuto conto che la fondazione sarà posta ad una profondità intorno a 4 m, lo spessore H da considerare nella relazione di calcolo della media ponderale è pari a 6 m ed è costituito da un unico sismostrato (vedi Fig. 11) con velocità delle onde S pari a 600 m/s.

$$V_{S-Eq} = \frac{6,0}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{v_i}}$$

$V_{S-Eq} \approx$	m/s	600
--------------------	-----	-----

con:

h_i spessore dell' i -esimo strato;

v_i velocità delle onde di taglio nell' i -esimo strato;

N numero di strati (1);

Pertanto, in accordo con i risultati delle indagini sismiche multispettrali (MASW), ai sensi del vigente D.M. 17/01/2018 il sottosuolo dell'area interessato dall'intervento, a partire dal piano di fondazione, risulta classificabile come **CATEGORIA DI SOTTOSUOLO B**:

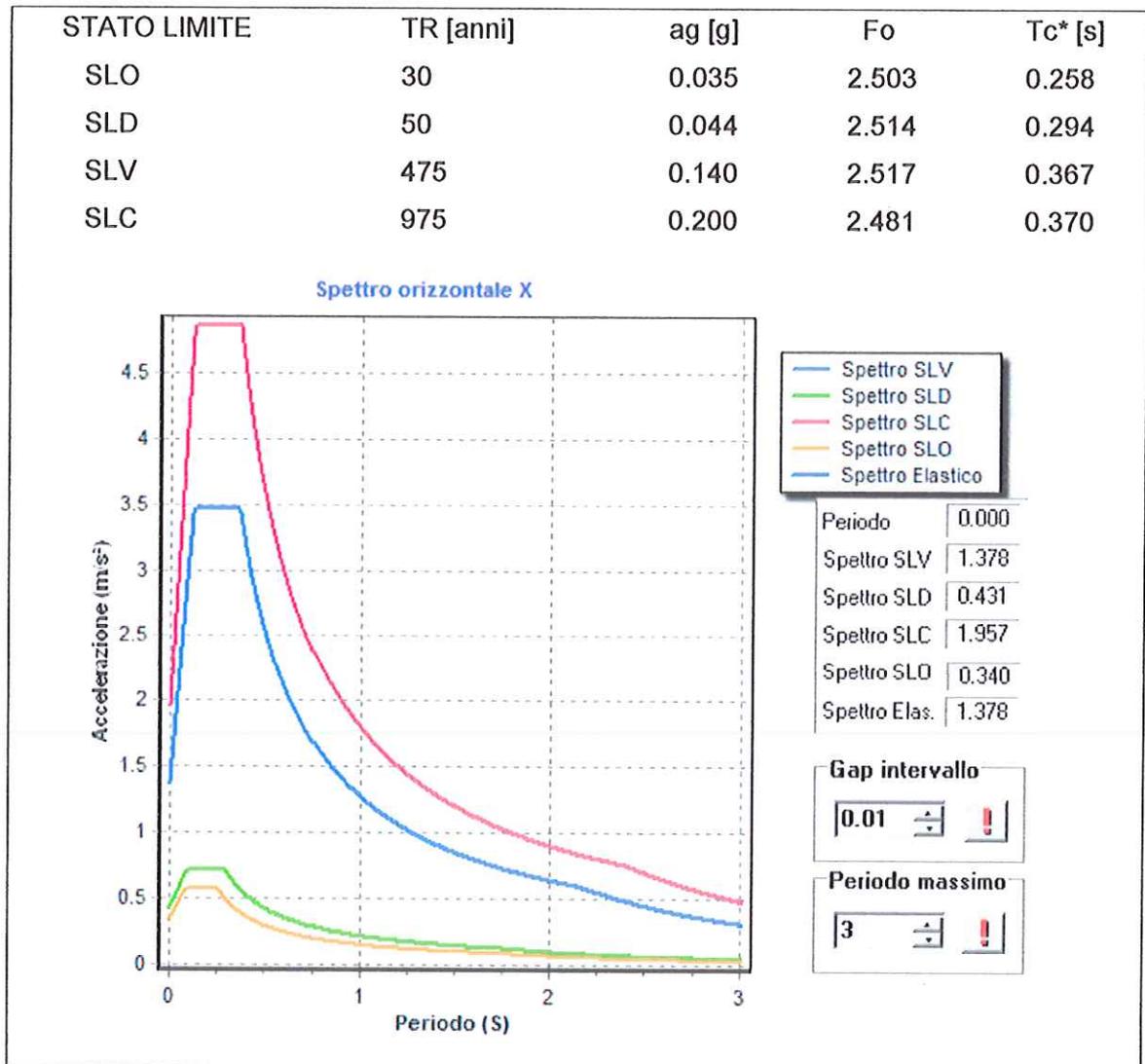
B: Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.

Mentre per quanto riguarda la categoria topografica si dovrà fare riferimento alla categoria T1:

T1: Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$

I parametri per la definizione dello spettro elastico ricavati secondo il vigente D.M. 17 gennaio 2018, secondo le coordinate geografiche del sito, classe d'uso (classe II) e vita nominale (50 anni) sono:

STATO LIMITE	TR [anni]	ag [g]	Fo	Tc* [s]
SLO	30	0.035	2.503	0.258
SLD	50	0.044	2.514	0.294
SLV	475	0.140	2.517	0.367
SLC	975	0.200	2.481	0.370



MODELLO GEOTECNICO DI BASE DEL SOTTOSUOLO

Poiché i fabbricati sono dotati di piano interrato, il piano di fondazione ricade all'interno del SISMOSTRATO 2 ossia all'interno dei "Limi sabbiosi addensati".

Dal punto di vista geotecnico, l'area si può ben definire, ai sensi delle NTC vigenti, come "zona geotecnica nota" in quanto su questi materiali fondali sono state eseguite nell'ambito degli studi geologici di PUG, diverse indagini sia in situ che in laboratorio. In particolare sono state eseguite indagini penetrometriche dinamiche, statiche e prove di laboratorio triassiali ed edometriche. Nel caso del presente studio, per la caratterizzazione fisica e geotecnica di detti terreni sono state utilizzate formule empiriche ampiamente riconosciute e utilizzate nella letteratura di settore, che hanno come input le velocità delle onde P e delle onde S ricavate dalle indagini MASW. In definitiva per il calcolo della Rd, sono stati utilizzati i seguenti parametri geotecnici caratteristici minimi assunti con criteri estremamente cautelativi:

Pv (Peso di volume) = 1.8 g/cm³

Φ (Angolo d'attrito) = 32°

C (Coesione)= 0 g/cm³

Cu (Coesione n.d.)= 50 g/cm²

Modulo di elasticità statico= 450 MPa

Modulo di taglio = 162 MPa

Rigidità sismica= 0.5 (Km/s*t/mc)

Frequenza dello strato= 21 Hz

Modulo di Poisson= 0.35

Costante di Winkler= 7+8 Kg/cm³

Sulla base di queste risultanze, risulta idonea una fondazione a travi rovesce collegate a graticcio.

Sulla scorta della suddetta caratterizzazione geotecnica, sono stati eseguiti i calcoli della capacità portante per una fondazione continua assumendo il modello di calcolo di Brinch-Hansen (1970).

$$\sigma_{Rott} = c * N_c * s_c * d_c + q_{lit} * N_q * s_q + 0.5 * \gamma * N_\lambda * B * s_\lambda$$

ove i fattori di capacità portante sono quelli Brinch Hansen:

$$\Rightarrow N_q = e^{\pi \cdot \tan(\theta)} \cdot \tan^2(45 + \theta/2); \quad N_c = (N_q - 1) \cdot \cot(\theta); \quad N_\lambda = 1.5 \cdot (N_q - 1) \cdot \tan(\theta)$$

$\Rightarrow s_c, s_q, s_\lambda$ coefficienti di forma; d_c, d_q coefficienti di profondità

$\Rightarrow \theta$ = angolo d'attrito

$\Rightarrow c$ = coesione

$\Rightarrow q_{lit}$ = pressione litostatica alla profondità del piano di posa

$\Rightarrow B$ = larghezza della fondazione;

$\Rightarrow \gamma$ = peso di volume del terreno fondale;

Per quanto riguarda il problema delle deformazioni dei terreni fondali, i vari metodi di calcolo riportati in letteratura portano a risultati fortemente dispersi, che più che fornire una stima attendibile dei cedimenti, possono servire solo ad accertare se il problema sussiste. Il cedimento totale di una fondazione (**Stot**) è dato dalla somma del cedimento elastico o immediato (**Se**) e il cedimento di consolidazione (**Sc**). Nel nostro caso poiché i terreni di fondazione sono limosi e drenati, e perciò scarsamente consolidabili, il contributo di Sc si può assumere nullo e pertanto si può scrivere **Stot=Se**

Un valore meramente indicativo del cedimento immediato, può essere ricavato dalla relazione di Janbu et al. (1956) che è valida nelle condizioni di approssimazione elastica dei terreni di sedime:

$$S = (q \cdot B / E) \cdot \mu_0 \cdot \mu_1; \quad S = \text{cedimento medio di una fondazione flessibile}$$

E=modulo di deformazione elastica in condizioni non drenate. B=larghezza della fondazione; μ_0 e μ_1 = coefficienti correttivi dipendenti dalla forma e profondità del piano di posa e dallo spessore dello strato compressibile (secondo Christian e Carrier, 1976).

Di seguito viene fornita una tabella dei carichi di rottura per diversi valori di B (larghezza della trave), e una tabella dei cedimenti elastici in corrispondenza di un carico pari a 3 kg/cmq, assunta costante l'altezza della trave pari a 100 cm. Quest'ultima dimensione ha scarsa incidenza sui valori di portanza.

BRINCH HANSEN (1970)								
Angolo di attrito			gradi	32	COEFF. CAPACITA' PORTANTE		N _q	23.18
Coesione			g/cm ^q	0			N _c	35.49
Peso di volume			g/cm ^c	1.8			N _y	27.72
D			cm	100				
L(cm)			cm	500				
B	C.LIT	k	sy	sq	sc	dq	dc	Q ROTT.
(cm)	(Kg/cm ^q)							Kg/cm ^q
60	0.18	1.03	0.95	1.07	1.08	1.61	1.41	8.62
70	0.18	0.96	0.94	1.09	1.09	1.56	1.38	8.74
80	0.18	0.90	0.94	1.10	1.10	1.53	1.36	8.87
90	0.18	0.84	0.93	1.11	1.12	1.49	1.34	9.01
100	0.18	1.00	0.92	1.12	1.13	1.59	1.40	9.74
110	0.18	0.91	0.91	1.14	1.14	1.53	1.36	9.78
120	0.18	0.83	0.90	1.15	1.16	1.49	1.33	9.85
130	0.18	0.77	0.90	1.16	1.00	1.45	1.31	9.95
140	0.18	0.71	0.89	1.17	1.00	1.42	1.29	10.06
150	0.18	0.67	0.88	1.19	1.00	1.39	1.27	10.19
160	0.18	0.63	0.87	1.20	1.00	1.37	1.25	10.32
170	0.18	0.59	0.86	1.21	1.00	1.35	1.24	10.47
180	0.18	0.56	0.86	1.22	1.00	1.33	1.22	10.62
190	0.18	0.53	0.85	1.24	1.00	1.31	1.21	10.78
200	0.18	0.50	0.84	1.25	1.00	1.29	1.20	10.94

B(cm)	Carico (Kg/cm ^q)	Cedimenti elastici (cm)
80	3	0.058
100	3	0.072
120	3	0.079
140	3	0.092
160	3	0.096
180	3	0.120
200	3	0.160

CONCLUSIONI

La caratterizzazione geologica dell'area interessata dal Piano Urbanistico Esecutivo (Maglia Bs.ad./40) nella città di Trani, consente conclusivamente di affermare che:

La fattibilità idrogeologica è positiva in quanto:

- non esiste una falda superficiale che interagisca con le opere previste; la superficie piezometrica è presente ad una profondità media intorno a -10 m dal piano campagna con oscillazioni intorno al metro (± 1 m);

La fattibilità idraulica è positiva in quanto:

- in riferimento alle NTA del Piano di Assetto Idrogeologico (PAI) dell'AdB di Puglia attualmente vigente, l'area di cui trattasi non è inficiata da vincoli di pericolosità idraulica, non si colloca all'interno delle "aree di modellamento attivo-area golenale", e nemmeno all'interno delle "aree di pertinenza fluviale".

La fattibilità geomorfologica è positiva in quanto:

- nel sottosuolo non vi sono cavità antropiche e/o naturali, data la natura incoerente dei terreni; ai sensi del PAI vigente, l'area non è inficiata da perimetrazioni di "Pericolosità Geomorfologica".
- ai sensi dell'art. 89 del D.P.R. 6 Giugno 2001 n. 380/2001 il progetto di cui trattasi non prevede movimenti terra che alterino la morfologia pianeggiante preesistente, e come da previsione urbanistica, è compatibile con le condizioni geomorfologiche del territorio.

La fattibilità geologica e geotecnica è positiva in quanto:

- in tutta l'area affiorano diffusamente i limi sabbiosi riferibili ai depositi marini terrazzati con spessori non superiori a 8 m e che ricoprono il basamento rigido calcareo della formazione del "Calcere di Bari"; la giacitura è sub orizzontale e non sono presenti fenomenologie franose considerata anche l'orografia pianeggiante della zona;
- i limi sono dotati di discrete caratteristiche geotecniche che consentono senza alcun dubbio la realizzazione della struttura; sebbene le caratteristiche geotecniche dei terreni interessati dalle opere siano ampiamente note, ai sensi delle NTC 2018, si dovrà procedere in sede di progetto definitivo ad effettuare indagini in situ e/o di laboratorio.

In termini sismici:

- la modellazione sismica di base eseguita mediante procedura MASW, ai sensi delle NTC 2018, consente di classificare l'area in termini di sottosuolo di tipo B:

B: Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.

Tanto dovevasi.

ANDRIA OTTOBRE 2019



APPENDICE INDAGINI



INDAGINE SISMICA A RIFRAZIONE

METODOLOGIA

La sismica a rifrazione è un'indagine indiretta non distruttiva che consente di ricavare l'assetto stratigrafico e i parametri elasto-meccanici del sottosuolo in maniera areale. A differenza delle perforazioni, l'indagine sismica non fornisce informazioni stratigrafiche lungo una retta perpendicolare al terreno, ma lungo un semipiano perpendicolare. Inoltre le determinazioni dei moduli elastici effettuate mediante questa metodologia, nonostante siano desunte da indagini indirette per cui suscettibili di errore, sono riferibili a volumi significativi del sottosuolo in condizioni indisturbate, a differenza delle prove geotecniche di laboratorio che pur raggiungendo un elevato grado di sofisticazione ed affidabilità, hanno la limitazione di essere puntuali cioè relative ad un modesto volume di terreno.

L'indagine consiste nell'energizzare il terreno mediante un'onda d'urto provocata dalla caduta di una massa battente (7+8 kg) e nel registrare tale onda mediante la misurazione dei tempi di arrivo al gruppo di geofoni posizionati opportunamente lungo uno stendimento. Sono analizzati i tempi di arrivo delle onde dirette P che hanno viaggiato parallelamente alla superficie topografica e i tempi di arrivo delle onde P rifratte, che emergono in superficie dopo essere state rifratte da uno o più sismostrati rifrattori. Condizione necessaria per l'emersione delle onde rifratte è che la velocità dei vari sismostrati aumenti con la profondità. I tempi di arrivo ai geofoni, dipendono dalla stratigrafia, dalle caratteristiche geometriche ed elastiche degli strati. Le relazioni tra i tempi di arrivo ai geofoni e la distanza sorgente-geofono consentono, attraverso una serie di formule matematiche derivate dalle tre leggi di Snell e dalla trigonometria, di calcolare la velocità delle onde e gli spessori degli strati esistenti nel sottosuolo. In ultimo i valori delle velocità calcolate consentono di ricavare i moduli elastici del terreno.

STRUMENTAZIONE UTILIZZATA E GEOMETRIA DELLA LINEA SISMICA

La strumentazione utilizzata è costituita da un sismografo multicanale PASI 16S12, avente le seguenti caratteristiche tecniche :

- frequenza di campionamento dei segnali tra 16 μ s e 2 ms;
- sistema di comunicazione e di trasmissione del "tempo zero" (time break)
- filtri High Pass e Band Reject
- "Automatic Gain Control"
- convertitore A/D a 24 bit
- 12 geofoni verticali (P) con frequenza propria di 14 Hz;
- mazza battente pesante di 10 Kg.

UBICAZIONE DELLE INDAGINI GEOFISICHE

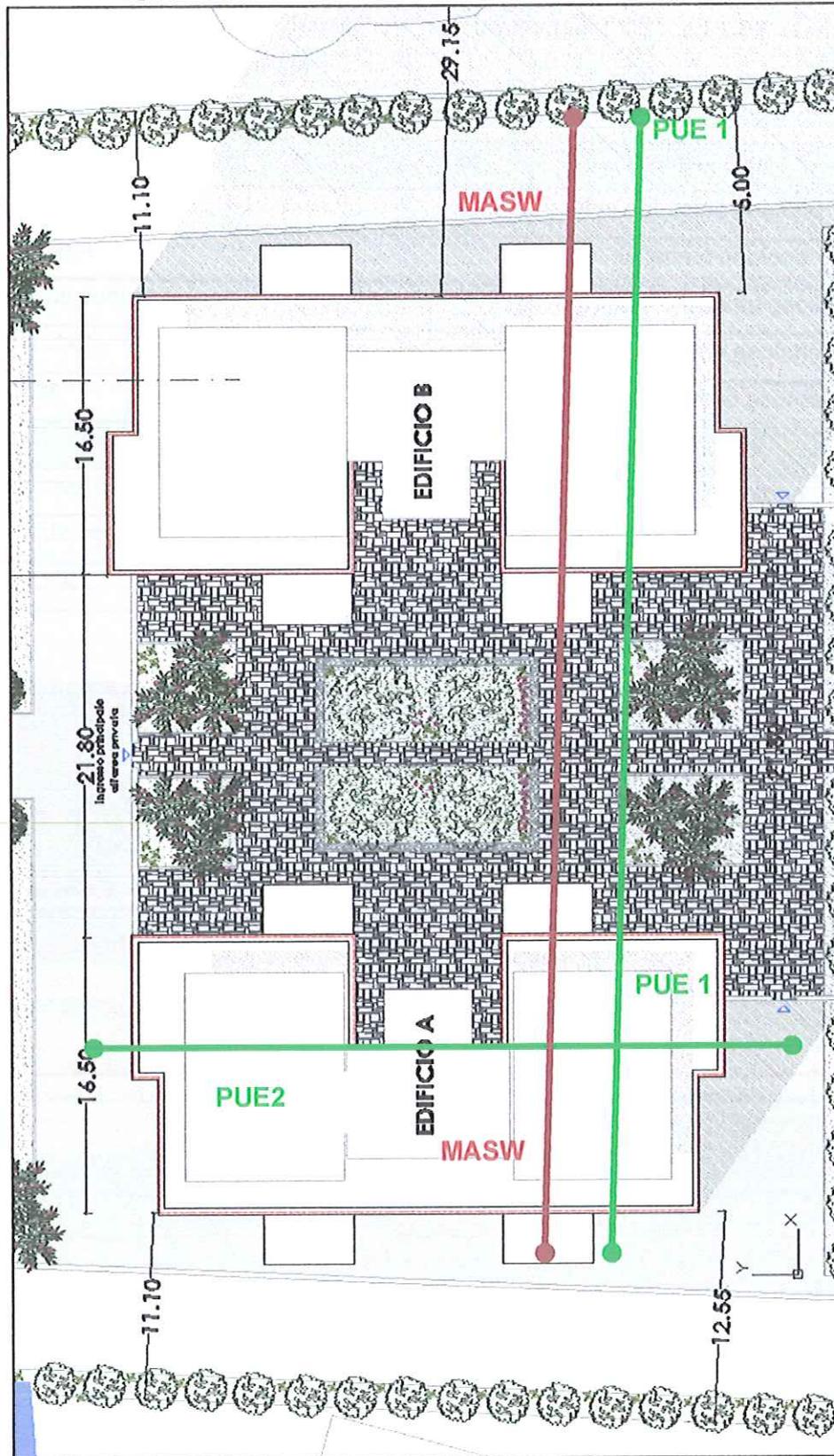


FIG. 1 25



FOTO 2

RISULTATI DELLE INDAGINI SISMICHE

Gli output dell'indagine sono rappresentati dai sismogrammi, le dromocrone ossia il grafico dei tempi di arrivo ai vari geofoni delle onde e infine i profili sismici, che sono stati ricostruiti facendo riferimento anche alla geologia della zona. Le due linee sismiche mostrano risultati univoci e pressoché identici evidenziando la presenza di 3 ben distinti sismostrati:

1. Un primo sismostrato superficiale spesso circa 2 m che presenta velocità delle onde P intorno a 700 m/s e che sulla base delle conoscenze geologiche acquisite è riferibile a depositi limoso-sabbiosi con scarso grado di addensamento;
2. Un secondo sismostrato di circa 6 m con velocità delle onde P intorno a 1200 m/s ascrivibile a depositi litologicamente simili a quelli superficiali ma con un grado di addensamento superiore;
3. Alla profondità intorno a -8.5 m dal piano campagna si rileva un netto rifratore con velocità delle onde P intorno a 2200 m/s, che considerata la geologia della zona, è ascrivibile a un deposito litoide.

SISMOGRAMMA PUE1

PUE001.su Date: 07-25-2014

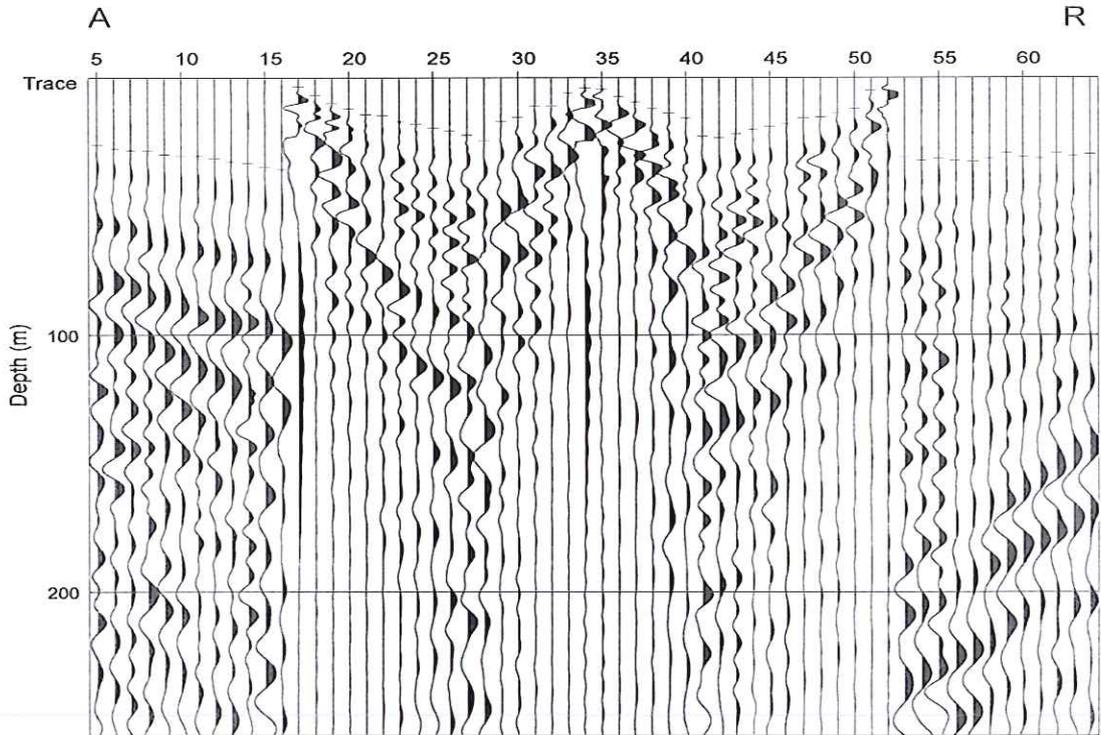


FIG. 2

DROMOCRONE PUE1

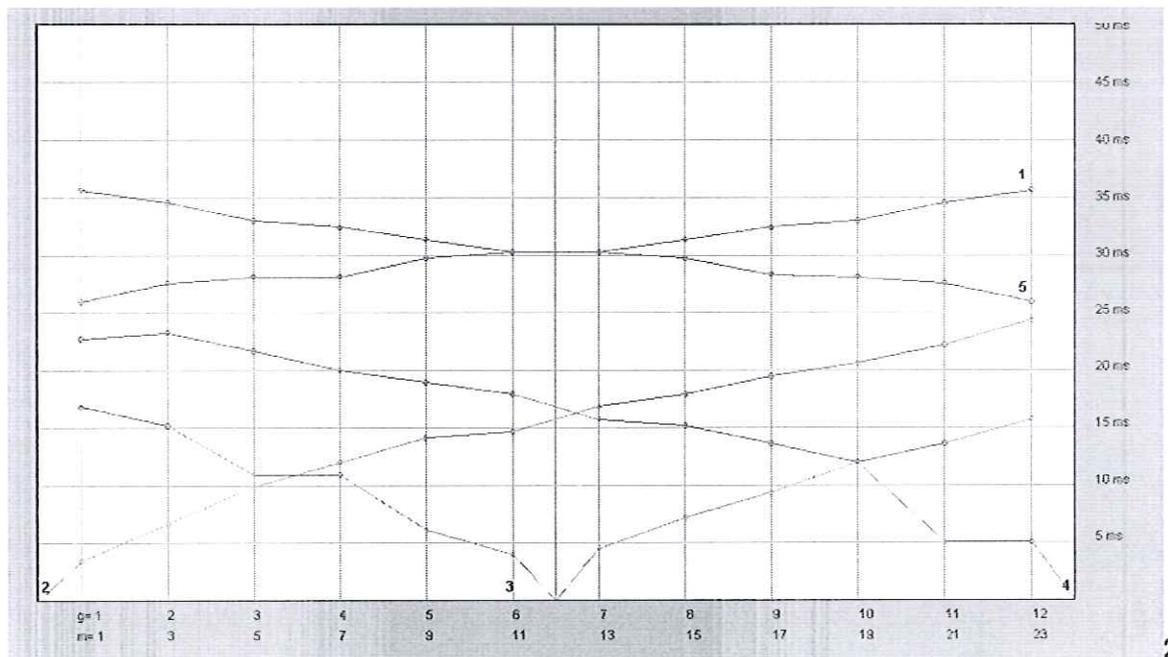


FIG. 3

PROFILO SISMICO PUE1

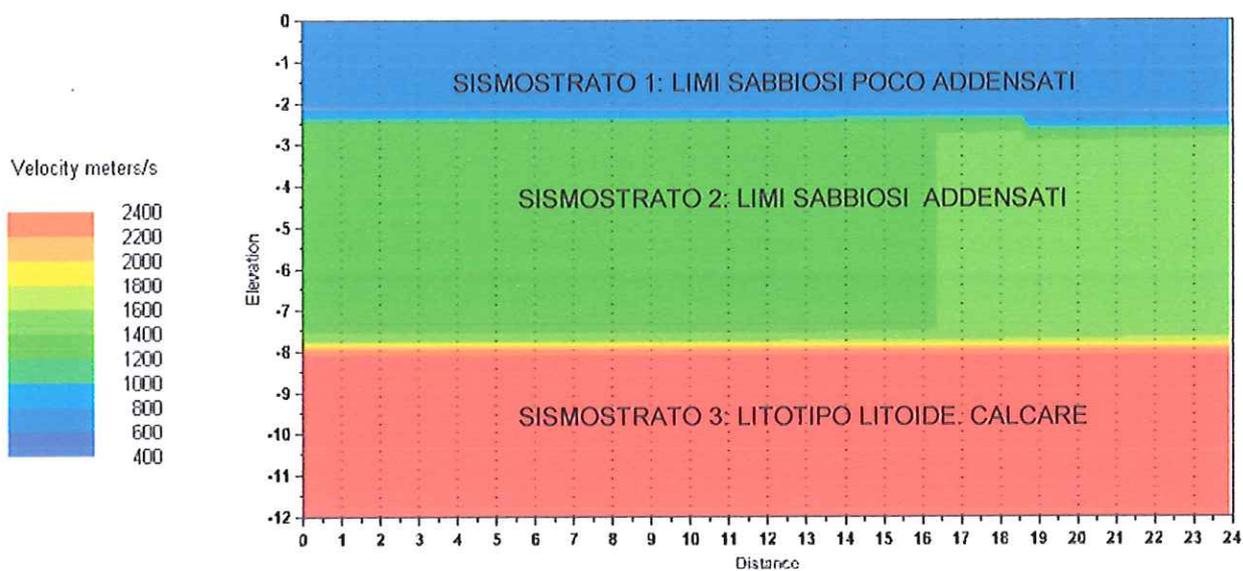


FIG. 4

SISMOGRAMMA PUE2

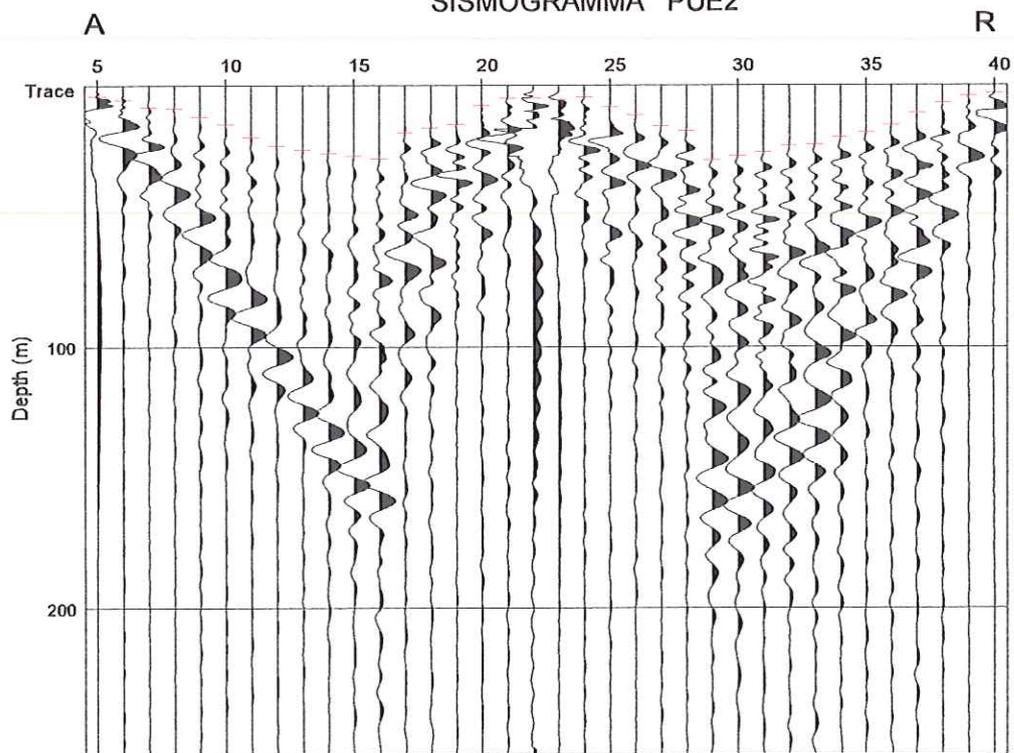


FIG. 5

DROMOCRONE PUE2

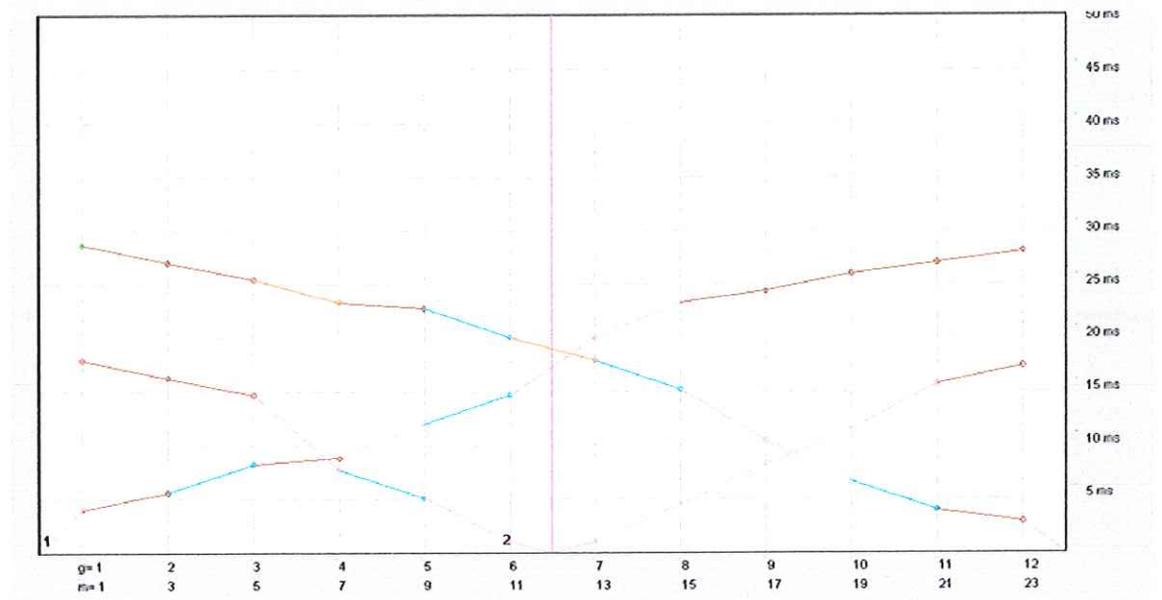


FIG. 6

PROFILO SISMICO PUE2

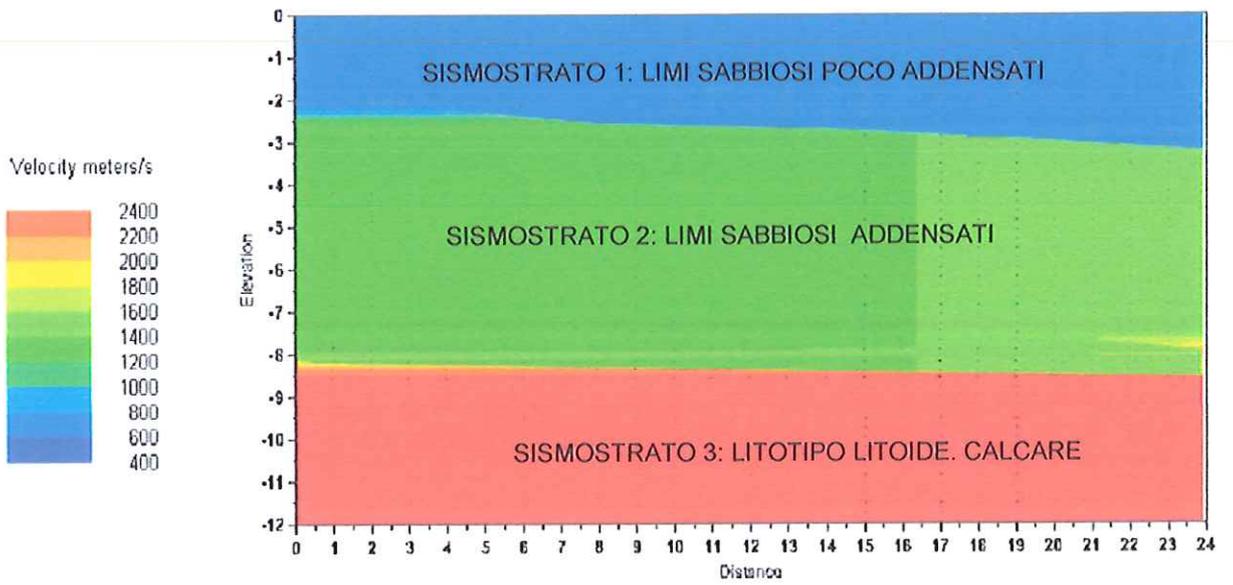


FIG. 7

MULTICHANNEL ANALYSIS OF SURFACE WAVES (MASW)

GENNI METODOLOGICI

Il metodo MASW è una tecnica di indagine non invasiva che consente la definizione del profilo di velocità delle onde di taglio V_s , basandosi sulla misura delle onde superficiali fatta in corrispondenza di diversi sensori posti sulla superficie del suolo. Il contributo predominante alle onde superficiali è dato dalle onde di Rayleigh, che si trasmettono con una velocità correlata alla rigidità della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde. La velocità delle onde di Rayleigh, indipendentemente dalla frequenza, si aggira intorno al 90% dei valori di velocità delle onde S. In un mezzo stratificato le onde di Rayleigh sono dispersive, cioè onde con diverse lunghezze d'onda si propagano con diverse velocità di fase e velocità di gruppo o detto in maniera equivalente la velocità di fase (o di gruppo) apparente delle onde di Rayleigh dipende dalla frequenza di propagazione.

Strumentazione e configurazione geometrica utilizzata

La strumentazione utilizzata è costituita da un sismografo multicanale PASI 16S12, avente le seguenti caratteristiche tecniche :

- capacità di campionamento dei segnali tra 0.002 e 0.00005 sec;
- sistema di comunicazione e di trasmissione del "tempo zero" (time break)
- filtri High Pass e Band Reject
- "Automatic Gain Control"
- convertitore A/D a 24 bit
- 12 geofoni verticali (P) con frequenza propria di 4.5 Hz;
- massa battente pesante di 10 Kg.

è stato utilizzato il seguente set-up:

- 24 geofoni con interspazio di 2 metri;
- n. 1 energizzazione ad offset pari a 10 m
- passo di campionatura pari a 500 μ sec;
- lunghezza delle tracce sismiche pari a 2024 msec.

RISULTATI DELL'INDAGINE MASW

Per problemi di non univocità del risultato, il metodo messo a punto e fortemente consigliato nella letteratura di settore, è stato quello di elaborare le curve di dispersione sulla base delle conoscenze geologiche acquisite in loco e i risultati della sismica a rifrazione. Si è proceduto in sostanza con una modellazione diretta modificando opportunamente gli spessori degli strati, forniti dalla sismica a rifrazione, e le velocità delle onde S, in maniera che le curve di dispersione ricadessero sui pattern di maggiore energia. L'elaborazione dei dati è stata condotta con il software WINMASW 4.1 basato su "algoritmi genetici" e prodotto dalla "Eliosoft" di Trieste e . L'analisi MASW col metodo diretto può essere ricondotta a due fasi :

- la prima fase prevede la trasformazione delle serie temporali (Fig. 8) nel dominio frequenza - velocità dell'onda (Fig. 9); va sottolineato a tal riguardo che, come si può notare nel diagramma di dispersione delle frequenze, non è possibile distinguere un netto pattern frequenze-velocità, per cui gioco forza si è proceduto solo a una modellazione col metodo diretto senza operare l'inversione finale che ottimizza il risultato e fornisce le velocità delle onde P e le densità dei litotipi.

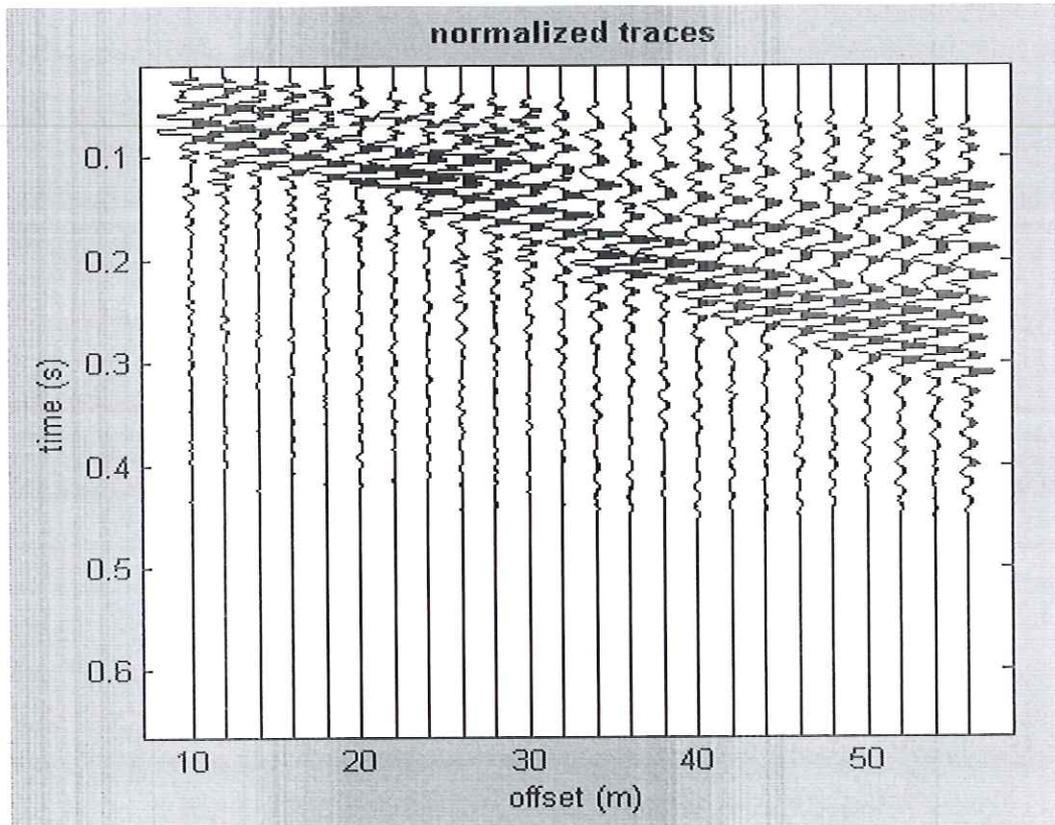


FIG. 8

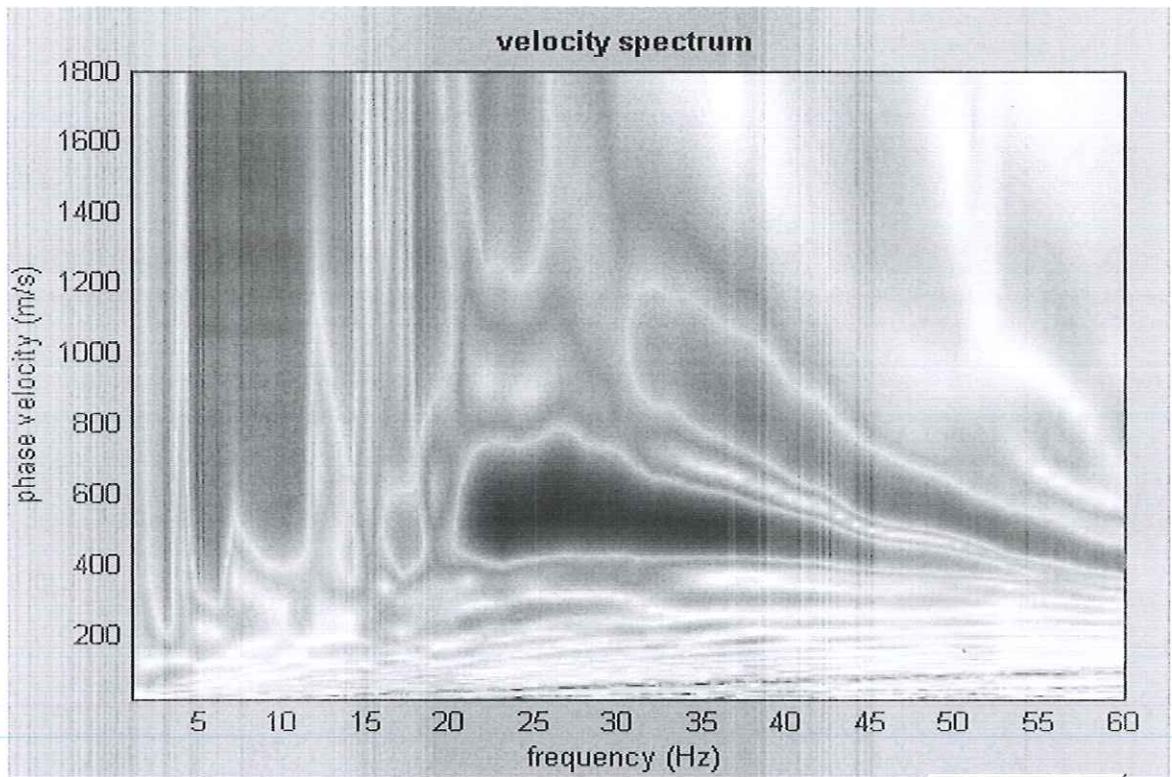


FIG. 9

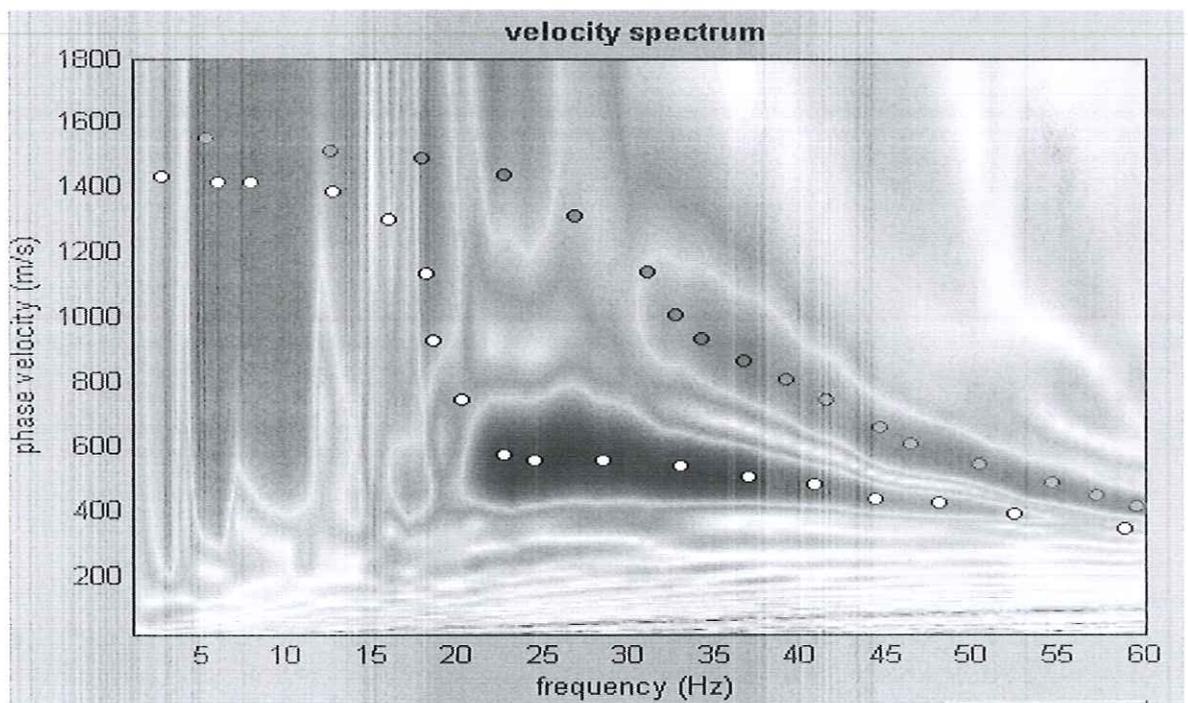


FIG. 10

- la seconda fase consiste nella individuazione delle curve di dispersione teorica che meglio ricadono sui pattern di maggiore energia (Fig. 10): si opera modificando opportunamente, lo spessore h , le velocità delle onde di taglio V_s e di compressione V_p , la densità di massa. Il fitting migliore restituisce l'andamento delle velocità delle onde S con la profondità riportato in figura 11:

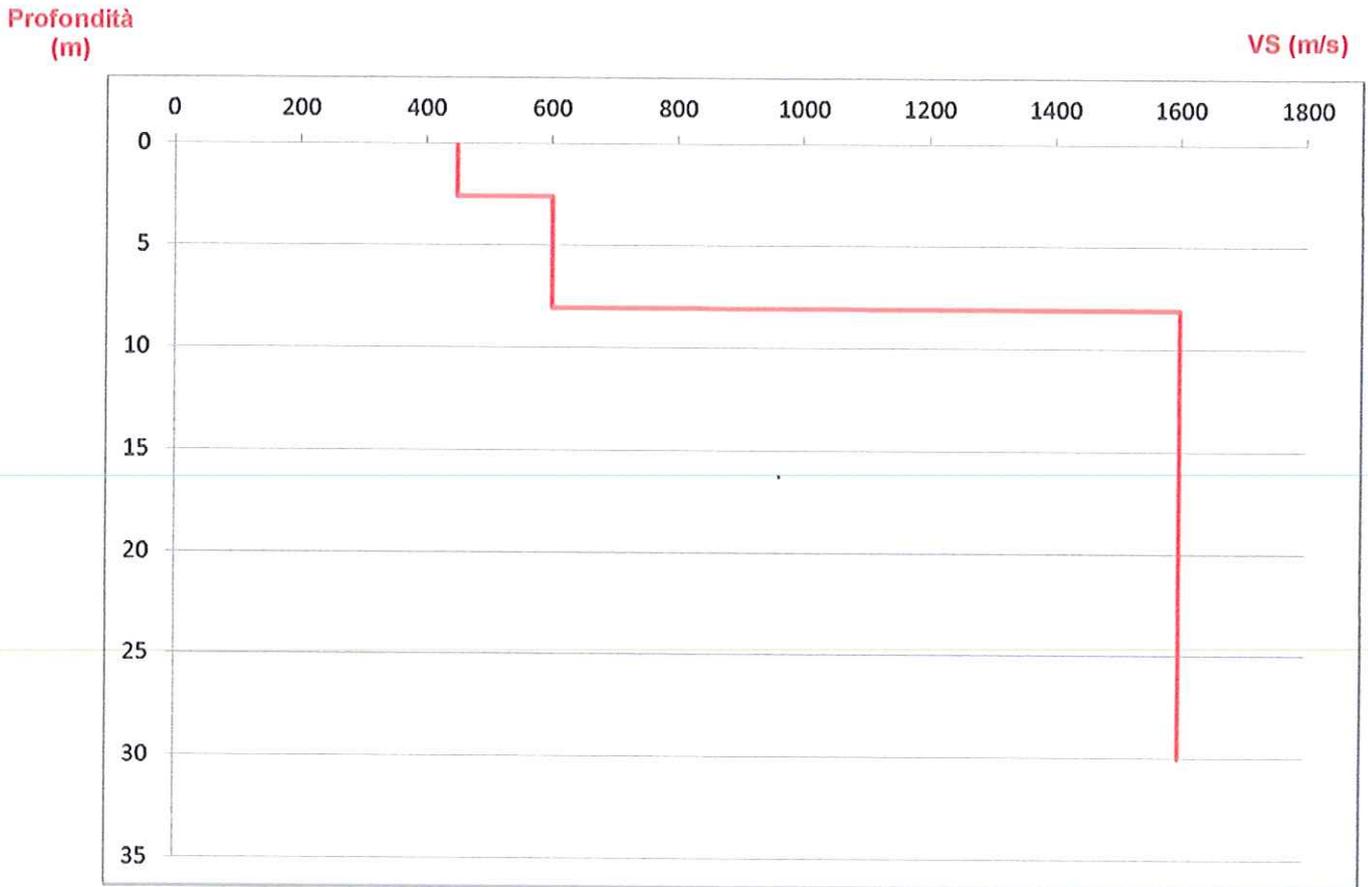


FIG. 11

CALCOLO DEL VALORE $V_{S-EQUIVALENTE}$. MODELLAZIONE SISMICA

In riferimento al paragrafo 3.2.2 delle NTC 2018, il basamento rigido è rappresentato nel caso in questione dal calcare ($V_S \sim 1600$ m/s), che si trova ad una profondità intorno a 10 m dal piano di strada. Tenuto conto che la fondazione sarà posta ad una profondità intorno a 4 m, lo spessore H da considerare nella relazione di calcolo della media ponderale è pari a 6 m ed è costituito da un unico sismostrato (vedi Fig. 11) con velocità delle onde S pari a 600 m/s.

$$V_{S-Eq} = \frac{6,0}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{v_i}}$$

$V_{S-Eq} \approx$	m/s	600
--------------------	------------	-----

con:

h_i spessore dell' i -esimo strato;

v_i velocità delle onde di taglio nell' i -esimo strato;

N numero di strati (1);

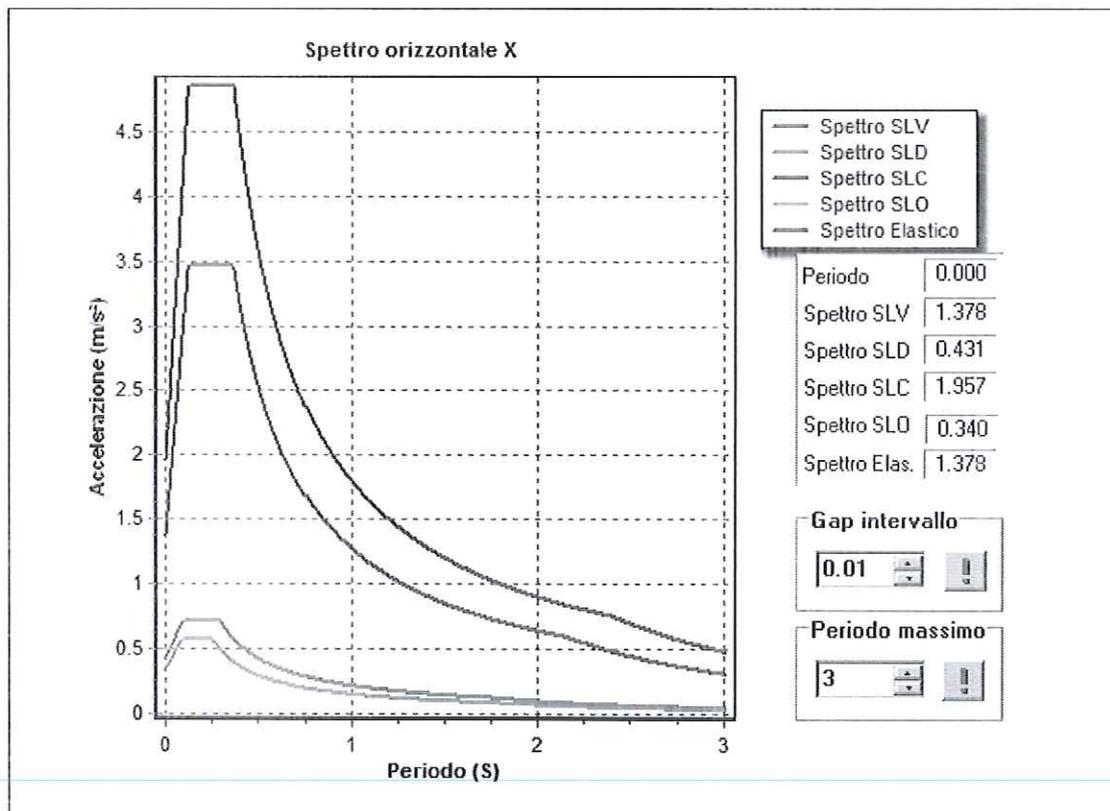
Pertanto, in accordo con i risultati delle indagini sismiche multispettrali (MASW), ai sensi del vigente D.M. 17/01/2018 il sottosuolo dell'area interessato dall'intervento, a partire dal piano di fondazione, risulta classificabile come **CATEGORIA DI SOTTOSUOLO B**:

B: Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.

Mentre per quanto riguarda la categoria topografica si dovrà fare riferimento alla categoria T1:

T1: Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$

STATO LIMITE	TR [anni]	ag [g]	Fo	Tc* [s]
SLO	30	0.035	2.503	0.258
SLD	50	0.044	2.514	0.294
SLV	475	0.140	2.517	0.367
SLC	975	0.200	2.481	0.370



ANDRIA OTTOBRE 2019

IL GEOLOGO

L. Cristofari