



dott. geol. Francesco Bartucci
Via Giuseppe Giusti, 76 - 76123 ANDRIA (BT)
tel. - fax 0883/559632 - E-mail : francescobartucci@libero.it
PEC: francesco.bartucci@sicurezzapostale.it

COMUNE DI TRANI

***ADOZIONE DELLA VARIANTE URBANISTICA DEL
PIANO URBANISTICO ESECUTIVO (MAGLIA 'BS.AD/19')
UBICATO IN VIA MALCANGI N.RI 9-11-13-15
(FG. 15 P.LLE 1889-1890)***

**RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA,
GEOTECNICA ED IDROGEOLOGICA
(ai sensi del D.P.R. 380/2001 e delle N.T.C. 2018)**

Committente:

Sig. DI GENNARO Stefano

Sig.ra DI GENNARO Rosa

Andria, 25 Giugno 2020

I N D I C E

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, GEOTECNICA ED IDROGEOLOGICA	pag.1
1. PREMESSA.....	" 1
2. UBICAZIONE DELL'AREA E CONGRUENZA CON IL PAI-PUGLIA.....	" 3
3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO GENERALE E DI DETTAGLIO.....	" 4
4. IDROGEOLOGIA.....	" 7
5. PROSPEZIONI SISMICHE	" 7
5.1 - Indagine geofisica HVSR	" 7
5.2 - Indagine geofisica MASW	" 11
6. MODELLAZIONE SISMICA DI BASE.....	" 12
7. CARATTERI GEOTECNICI.....	" 16
8. CONCLUSIONI.....	" 17

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA,
GEOTECNICA ED IDROGEOLOGICA
(ai sensi del D.P.R. 380/2001 e delle N.T.C. 2018)

1. PREMESSA

Lo studio geologico, geomorfologico, geotecnico ed idrogeologico che segue è stato redatto su incarico de sig.ri Di Gennaro Stefano e Di Gennaro Rosa, comproprietari dell'immobile e della corrispondente area coincidente, nell'ambito della zonizzazione del PUG di Trani, con il Piano Urbanistico Esecutivo denominato Maglia *'Bs.ad./19'*.

La predetta Maglia di P.U.E. è interamente occupata da un edificio ubicato nell'ambito del tessuto urbano di Trani in Via Malcangi (numeri civici 9, 11, 13, 15), registrato in Catasto nel Fg. 15 Particelle 1889-1890.

La presente relazione integra la documentazione tecnica ed amministrativa nell'ambito della procedura di adozione della variante urbanistica che in base alla normativa vigente è subordinata al parere di compatibilità delle condizioni geomorfologiche del territorio, ai sensi dell'Art. 89 ("Parere sugli strumenti urbanistici") del D.P.R. n. 380/2001 e ss.mm.ii..

Per quanto esposto, la relazione geologica si propone di esaminare e descrivere:

- le caratteristiche geologiche e geomorfologiche dell'area in esame con particolare riferimento a quanto pianificato nell'ambito del Piano per l'Assetto Idrogeologico della Puglia;

- l'origine e la natura dei litotipi costituenti l'area di sedime;

- il loro stato di addensamento, alterazione e/o fratturazione;

- i caratteri idrogeologici del sito;

- i risultati delle indagini geofisiche;

- la caratterizzazione sismica in base alla *'categoria di suolo'* desunta dal valore della $V_{s-equivalente}$.

L'immobile in considerazione è interamente occupato da un edificio costituito dal piano terra e primo piano (foto 1).

Tali condizioni strutturali, unitamente alla diffusa presenza di sottoservizi, hanno impedito l'esecuzione di indagini geosismiche attive (*'sismica a rifrazione'* e *'MASW'*) che richiedono la possibilità di disporre la stesa geofonica multicanale lungo allineamenti della lunghezza di alcune decine di metri senza la sussistenza di ostacoli. Si è optato, pertanto, per l'adozione di indagini geosismiche a stazione singola, ugualmente in grado di fornire i necessari parametri geosismici per ricostruire l'assetto geostratigrafico del sottosuolo, il valore della $V_{s\text{-equivalente}}$ e la categoria di suolo.



Foto 1: visione del prospetto prospiciente Via Malcangi n.ri 9-11-13-15

L'assetto geostratigrafico del sottosuolo è stato ricostruito sulla base della seguente campagna di indagini:

- N.1 indagine sismica passiva *'HVSr'* che consiste nell'analisi dei rapporti spettrali (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*) eseguita in sito;
- Rilevamento geologico e geomorfologico in sito e nelle aree contermini;
- Visione di fronti di scavi geognostici in siti adiacenti;
- Competenze relative alla geologia del sito acquisite dallo scrivente in occasione di lavori pregressi su aree contermini.

Tutti gli elementi acquisiti hanno permesso una ricostruzione attendibile del quadro litostratigrafico dell'area consentendo la determinazione della $V_{s-equivalente}$ e conseguentemente la caratterizzazione della categoria di suolo in base alle N.T.C. (D.M. 17/01/2018).

Le indagini geosismiche permettono, in base alle proprietà fisiche degli orizzonti sismostratigrafici di riconoscere e di ricostruire gli spessori delle eventuali coperture sedimentarie recenti o delle coltri di materiali di riporto che, spesso, sovrastano il rigido basamento carbonatico del territorio pugliese.

Nell'eseguire la relazione geologica si è tenuto conto delle indicazioni fornite dal D.M. 17 Gennaio 2018 (*“Norme Tecniche sulle Costruzioni”*).

In particolare si forniscono gli elementi essenziali per la definizione dei seguenti elaborati:

- Relazione geologica sulle indagini, caratterizzazione e modellazione geologica del sito (*Circolare 21 Gennaio 2019 , n. 7 C.S.LL.PP. Istruzioni per l'applicazione dell'aggiornamento delle 'Norme tecniche per le costruzioni' di cui al decreto ministeriale 17 Gennaio 2018*).

2. UBICAZIONE DELL'AREA E CONGRUENZA CON IL P.A.I. - PUGLIA

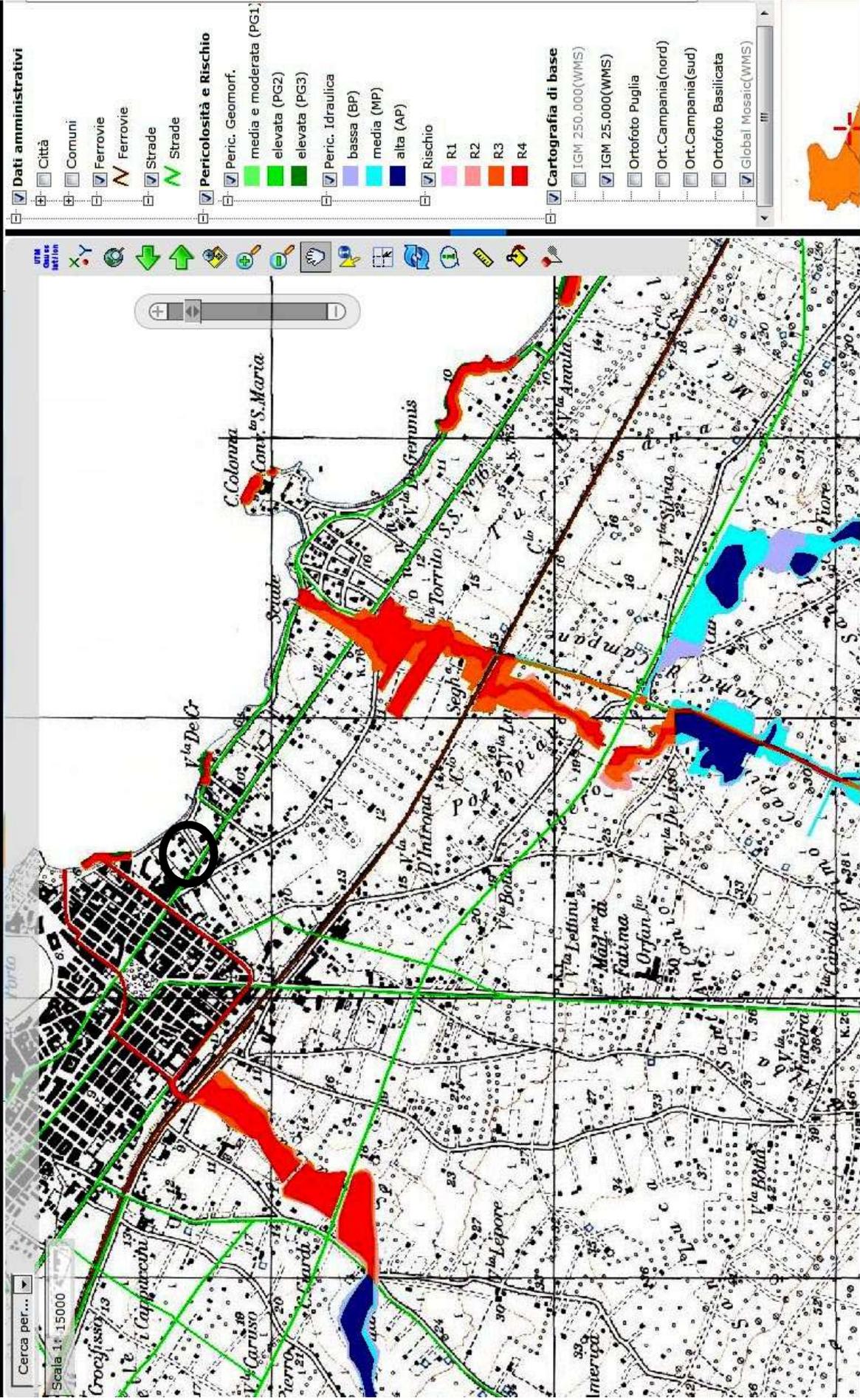
L'immobile in esame ricade nel territorio urbano di Trani (BT) in Via Malcangi n.ri 9-11-13-15.

L'area in oggetto è geograficamente identificata dalle seguenti coordinate WGS84: Lat. 41.274016N; 16.424613E; si eleva ad una quota di 7.3 m sul livello del mare e dista dalla linea di costa circa 0.15 Km (Figg.1-1/A-1/B-1/C-1/D-1/E-2). Il sito è catastalmente censito nel Fg. 15 P.lla 1889-1890.

In fig. 1, tratta dal P.A.I. della *Regione Puglia*, sono evidenziate le aree a rischio di alluvionamento ricadenti nell'ambito dell'abitato e della periferia di Trani.

P.A.I. - PUGLIA (Piano per l'Assetto Idrogeologico)

WebGIS dell'AdB Puglia (perimetri aggiornati il 26-11-2013)



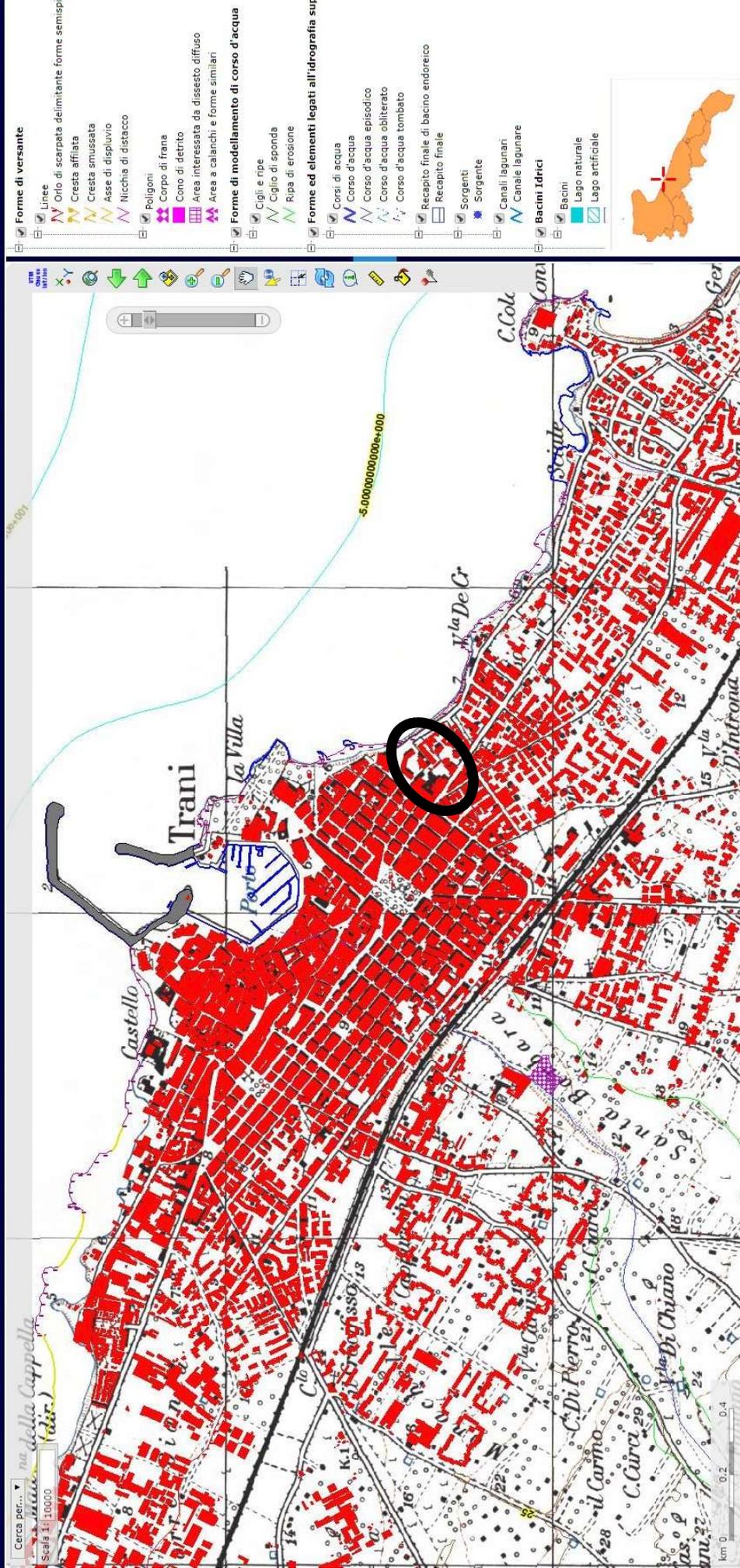
Ubicazione dell'area (Coordinate WGS84: Lat. 41.274016N; Long. 16.424613E; Alt. 7.3 m s.l.m.)

Fig. 1

CARTA IDROGEOMORFOLOGICA - AUTORITA' DI BACINO DELLA PUGLIA

WebGIS Carta Idrogeomorfologica della Puglia (agg. il 15-03-2016)

Auto Responsabile del SITI, WebGIS e Cartografia Ing.



Ubicazione dell'area

Fig. 1/B

STRALCIO CATASTALE - FG. 15 P.LLE 1889-1890



Fig. 1/C

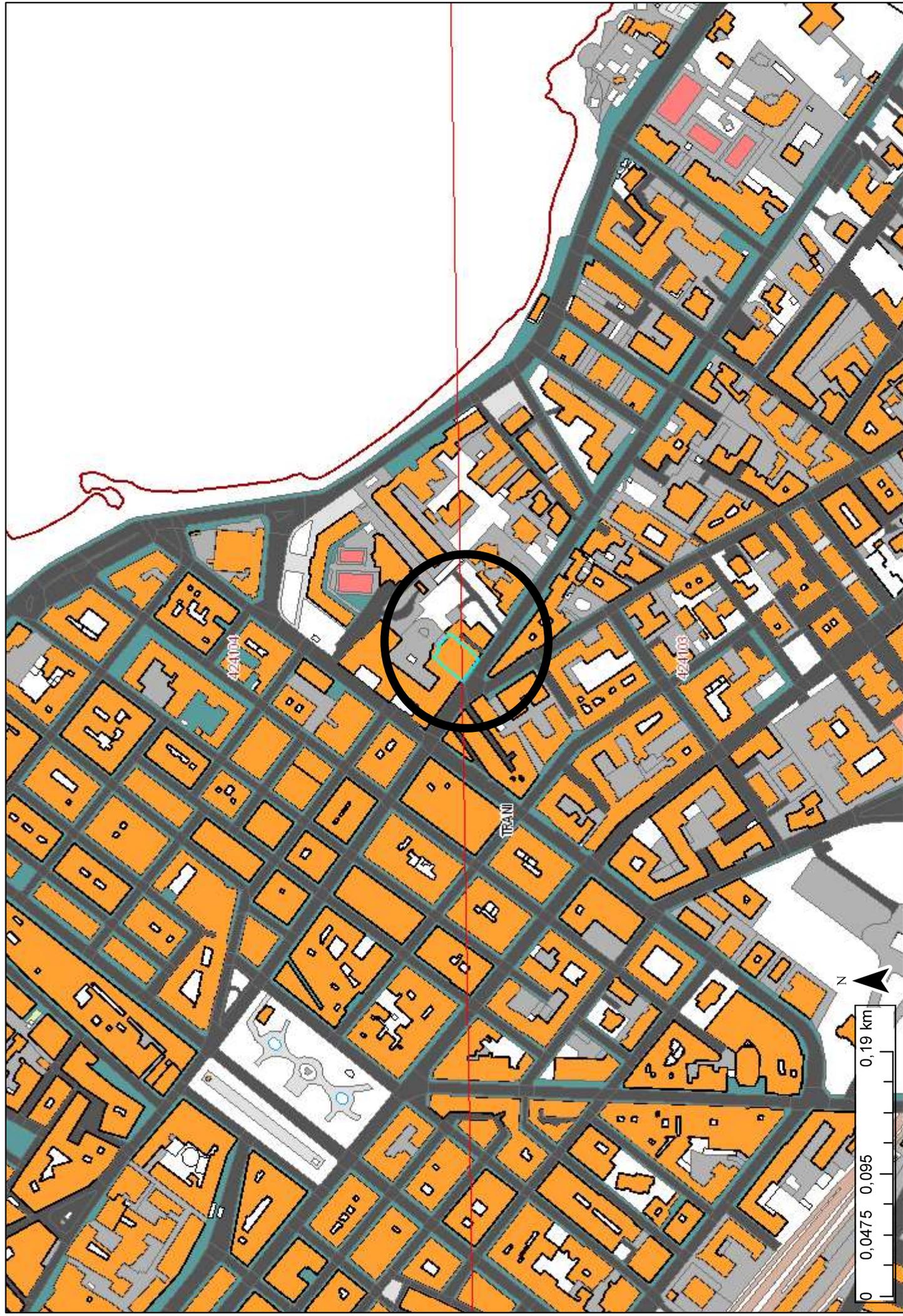


Fig. 1/D



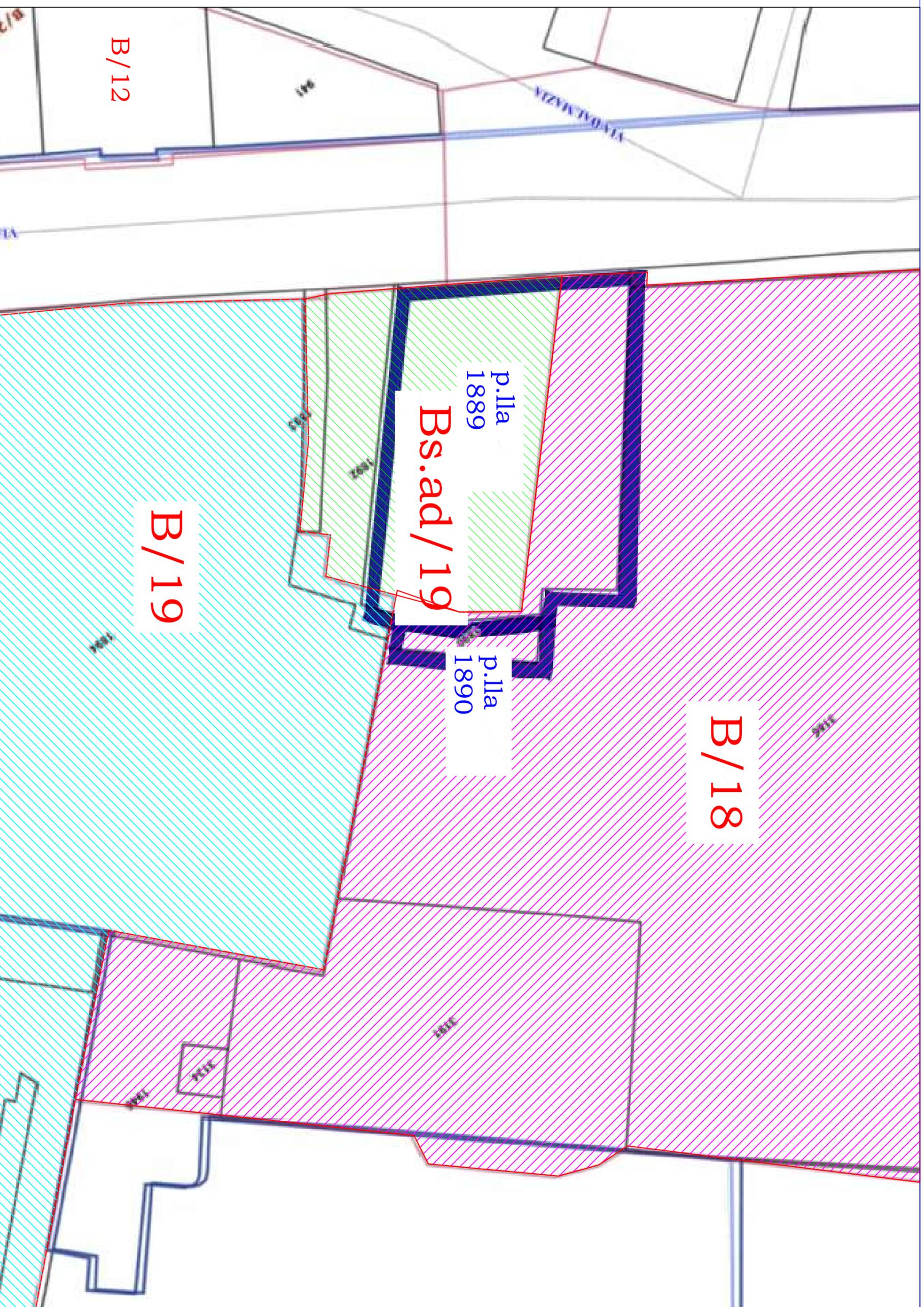


Fig. 2

OGGETTO
Verifica grafica da P.U.G. suolo sito in
Trani, via Avv. Malcangi nr. 9-11-13-15
Foglio 15, particelle 1889 e 1890

COMMITTENTE
Sig. Stefano Di Gennaro
Sig.ra Rosa Di Gennaro

CONSULENTE TECNICO
ing. Ivo LIGNOLA
ord. Ing. BAT n° 306, via Togliatti n°43
Trani (BT) 76125 - tel. fax. 0883.508590
e.mai: studioglignola@gmail.com

RILIEVO
Stralcio P.U.G. - zonizzazione

DATA
25
Ottobre
2019

SCALA
N.D.

TAVOLA
1
di 1

- **PIANO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO (P.A.I.)**

In fig. 1, stralciata dal Piano per l'Assetto Idrogeologico redatto dall'Autorità di Bacino della Puglia, sono evidenziate le aree a pericolosità geomorfologica a pericolosità idraulica con il 'rischio' connesso, ricadenti nel territorio che ingloba il sito in esame.

Dall'analisi cartografica non si evince la presenza di alcuna perimetrazione dei predetti parametri di pericolosità e di rischio nell'area in esame.

L'esame della 'Carta Idrogeomorfologica' dell'Autorità di Bacino (figg. 1/B) non mostra la presenza di aste fluviali nell'area in esame.

Il reticolo idrografico più prossimo al sito di progetto si colloca ad una distanza maggiore di 150 m dall'area; limite rappresentato dalla larghezza complessiva dell'area golenale (75m) e dell'area di pertinenza (ulteriori 75m) normate dagli Art. 6 e dell'Art. 10 delle Norme Tecniche di Attuazione del P.A.I..

L'area, inoltre, non è interessata dalle perimetrazioni riferite alla pericolosità geomorfologica.

Ne consegue che nell'area della Maglia del PUE 'Bs.ad.19' sussistono le condizioni di conformità alle prescrizioni normative contenute nel 'Piano per l'Assetto Idrogeologico' della Puglia e per le caratteristiche morfotopografiche naturali del territorio circostante.

3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO GENERALE E DI DETTAGLIO

L'area in oggetto è descritta nel Foglio 176 "BARLETTA" della Carta Geologica d'Italia, rappresentata in scala 1:100000.

Gli affioramenti dei litotipi, di seguito descritti, vengono rappresentati nella carta idrogeomorfologica di fig.3.

Il territorio immediatamente circostante il sito in esame è essenzialmente caratterizzato da affioramenti di rocce sedimentarie marine. La formazione più antica che ricade in tale territorio è il "Calcare di Bari".

Questa formazione cretacea, che raggiunge spessori dell'ordine di 3000 m, è formata da una successione di strati calcareo-dolomitici, in prevalenza detritici, spesso a grana fine

CARTA IDROGEOMORFOLOGICA (WWW.SIT.PUGLIA.IT)

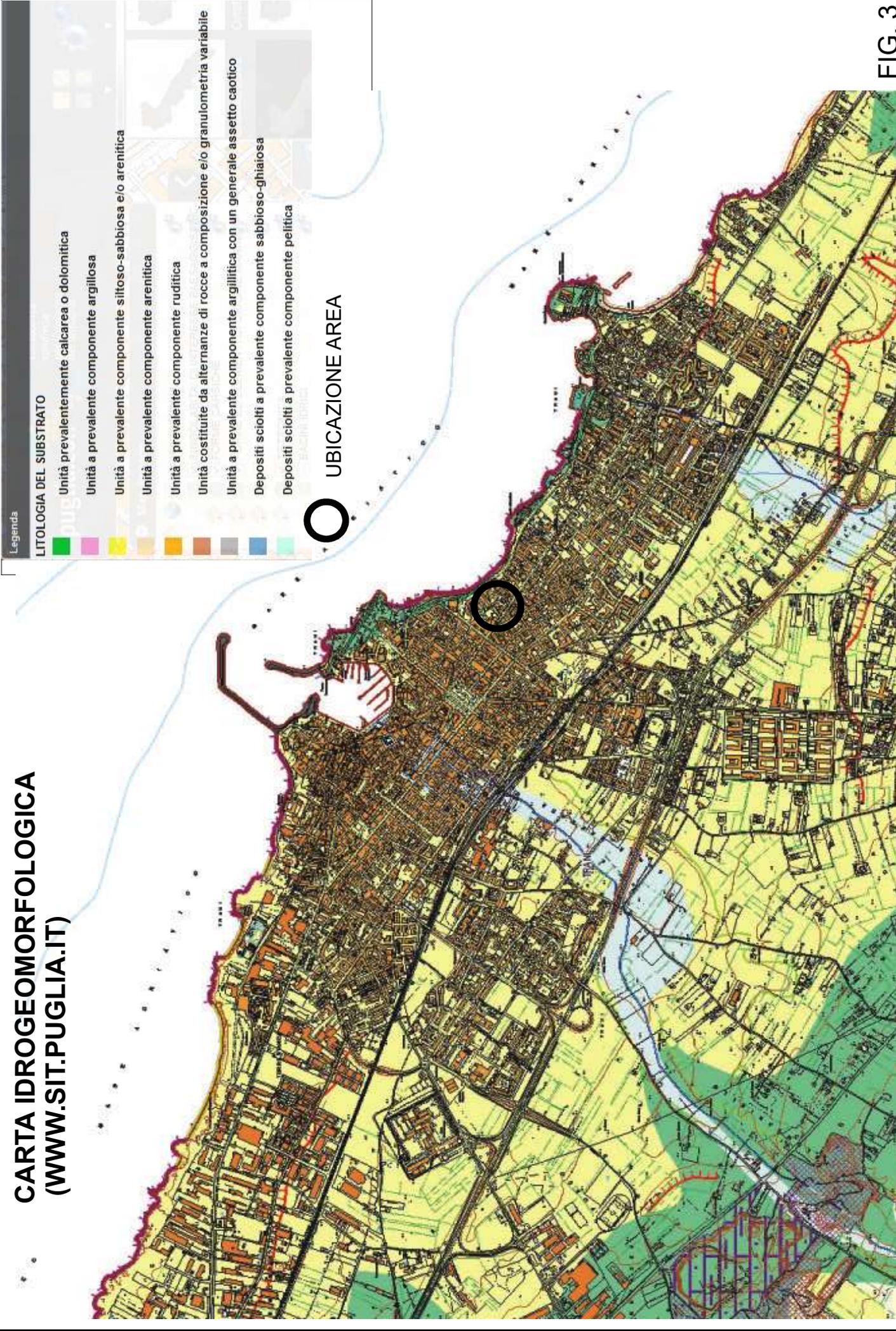


FIG. 3

e microcristallini di colore biancastro. Si presenta generalmente in strati di pochi decimetri (chiancarelle), caratterizzati da numerose soluzioni di continuità sia suborizzontali (giunti), che obliqui o subverticali (fratture, cavità e vacuoli carsici). Sovrapposti a tali litotipi, si rinvengono, a luoghi, i depositi trasgressivi quaternari, denominati "Tufi delle Murge". Si tratta di depositi marini post-calabrianici, generalmente terrazzati, formati da sabbie fini, in prevalenza quarzose, gialle o rossastre, con straterelli cementati e da calcareniti grossolane. A luoghi la parte sommitale di tali sedimenti risulta costituita da un livello calcarenitico fortemente cementato (crosta pugliese) dovuto al richiamo in superficie di soluzioni ricche di CaCO_3 ed alla successiva rideposizione del cemento calcitico.

Il territorio che comprende l'area in esame è subpianeggiante, con un generalizzato e lieve declivio verso il mare, in direzione Nord-Est.

Tra gli accidenti morfologici presenti nella zona si rileva la presenza di terrazzi marini plio-pleistocenici, posti a quote diverse e subparalleli alla linea di costa. Tali ripiani digradano mediante scarpate alte al massimo poche decine di metri.

Gli elementi morfologici minori, quali rilievi e depressioni, sono frequentemente da mettere in relazione a strutture tettoniche tipo pieghe e piccoli "Graben" o "Horst".

Una caratteristica peculiare del territorio tranese, così come del vicino altopiano murgiano, è data dalla presenza di numerosi solchi erosivi, chiamati lame, che si allungano perpendicolarmente alla linea di costa. Questi alvei testimoniano la presenza di linee di impluvio, a volte relitte, formatesi durante il Quaternario e coincidenti, spesso, con accidenti strutturali presenti nel substrato.

Durante eventi meteorici straordinari, caratterizzati da piogge abbondanti, i fondi di tali impluvi raccolgono e drenano le acque ruscellanti in superficie.

Nel fondo delle lame si rinvengono spesso dei depositi continentali di facies alluvionale, costituiti da limi sabbiosi e argillosi, a volte ciottolosi. L'età di questi depositi è associabile all'Olocene.

A circa 200 in direzione Ovest dal sito in oggetto è a luoghi visibile una di queste vallecole denominata '*Lama di Campane*' che è stata gradualmente e parzialmente obliterata dall'apporto di materiali di riporto.

Si può rilevare infine la presenza di macroforme di dissoluzione carsica (doline). Queste sono depressioni naturali, spesso di ragguardevoli dimensioni, caratterizzate sul fondo e sulle pareti da cavità naturali (inghiottitoi e grotte).

La frequenza di tali depressioni diventa maggiore man mano che ci si avvicina alla parte più elevata ed interna dell'altopiano murgiano.

Sotto l'aspetto tettonico, la regione presenta uno stile nel complesso assai semplice; infatti la successione cretacea forma un'estesa struttura monoclinale interessata da blande pieghe e da faglie dirette, sulla quale poggiano i depositi terziari e quaternari in assetto suborizzontale. Le direttrici principali di tali strutture sono orientate prevalentemente in direzione NW-SE; esse si sviluppano cioè parallelamente alla dorsale appenninica.

Le strutture disgiuntive risultano impostate su più antiche ed attenuate deformazioni plicative con prevalenti direzioni EW e WNW-ESE.

Le strutture plicative sono associabili ad una fase tettonica compressiva orogenetica di età cenozoica, che ha determinato la formazione di un sistema di pieghe con assi orientati prevalentemente in direzione NW-SE.

STRATIGRAFIA DI DETTAGLIO ED INDAGINI GEOGNOSTICHE

Le indagini geosismiche ed il rilevamento geologico di dettaglio hanno mostrato che il sottosuolo è costituito dai seguenti litotipi (Figg. 3/A-3/B-3/C-3/D-4):

- materiali di riporto eterometrici (spessore 1.00m);
- sedimenti limo-sabbiosi mediamente addensati (spessore 6.10m);
- ammassi calcareo-dolomitici stratificati con alto grado di fratturazione e/o carsismo (spessore 5.40m);
- ammassi calcareo-dolomitici stratificati con medio grado di fratturazione e/o carsismo (spessore indefinito).

COMUNE DI TRANI (BT)

PARERE DI COMPATIBILITA' DELLE CONDIZIONI GEOMORFOLOGICHE

Via Malcangi 9-11-13-15 - Fg. 15 P.lle 1889-1890

SONDAGGIO SISMICO HVSR

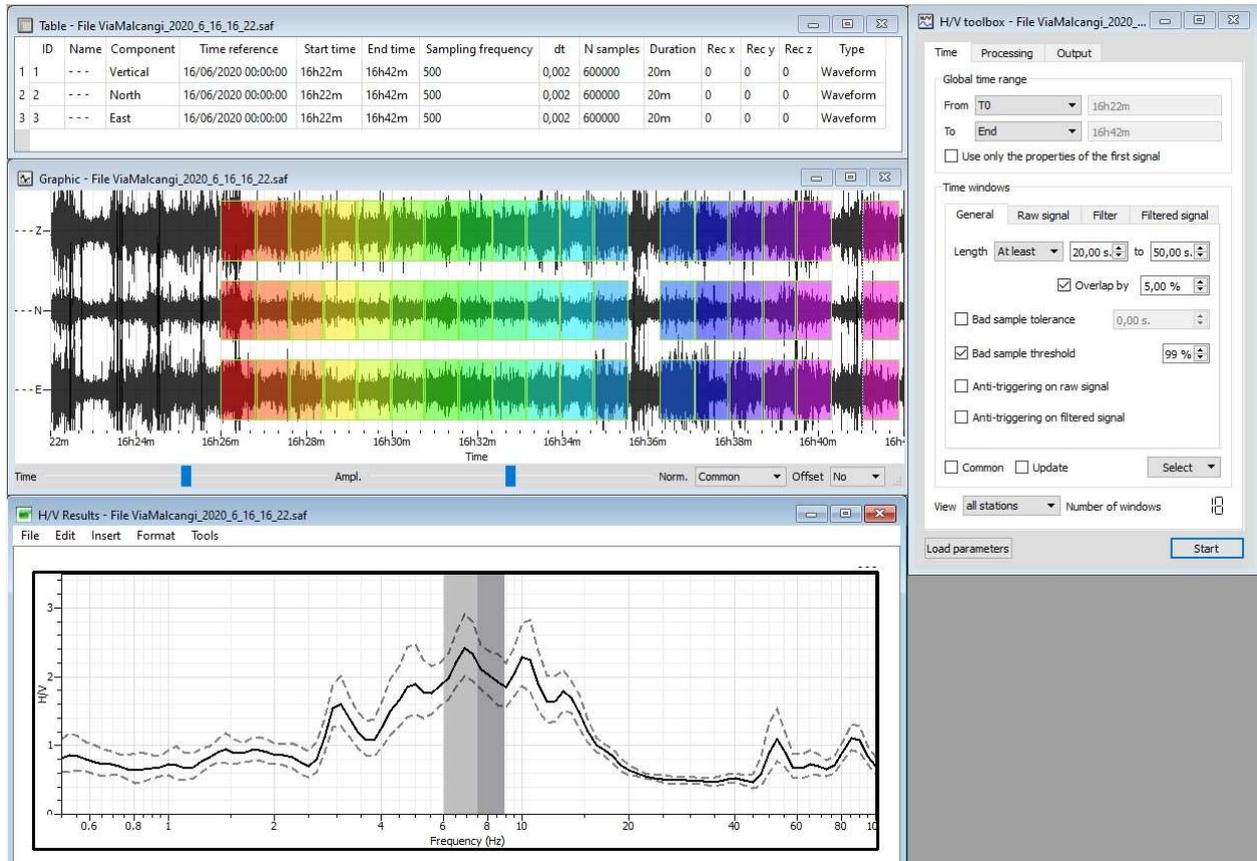
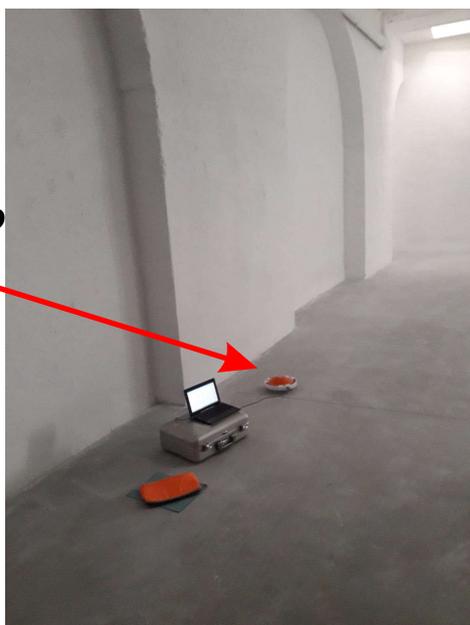
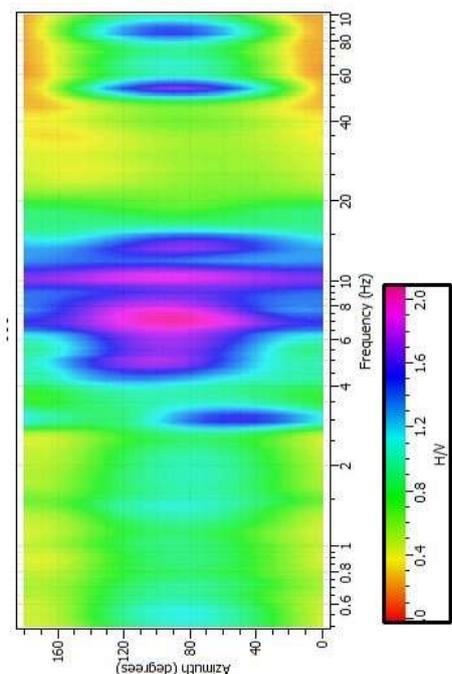


Foto sondaggio HVSR



**Tromografo
3D-24Bit**

Direzionalità



PARAMETRI DELLA RISPOSTA SISMICA LOCALE

FREQUENZA DI RISONANZA DEL SOTTOSUOLO: 6.882 Hz

PERIODO DI RISONANZA: 0.161 s

FATTORE AMPLIFICAZIONE: 2.22

Fig. 3/A

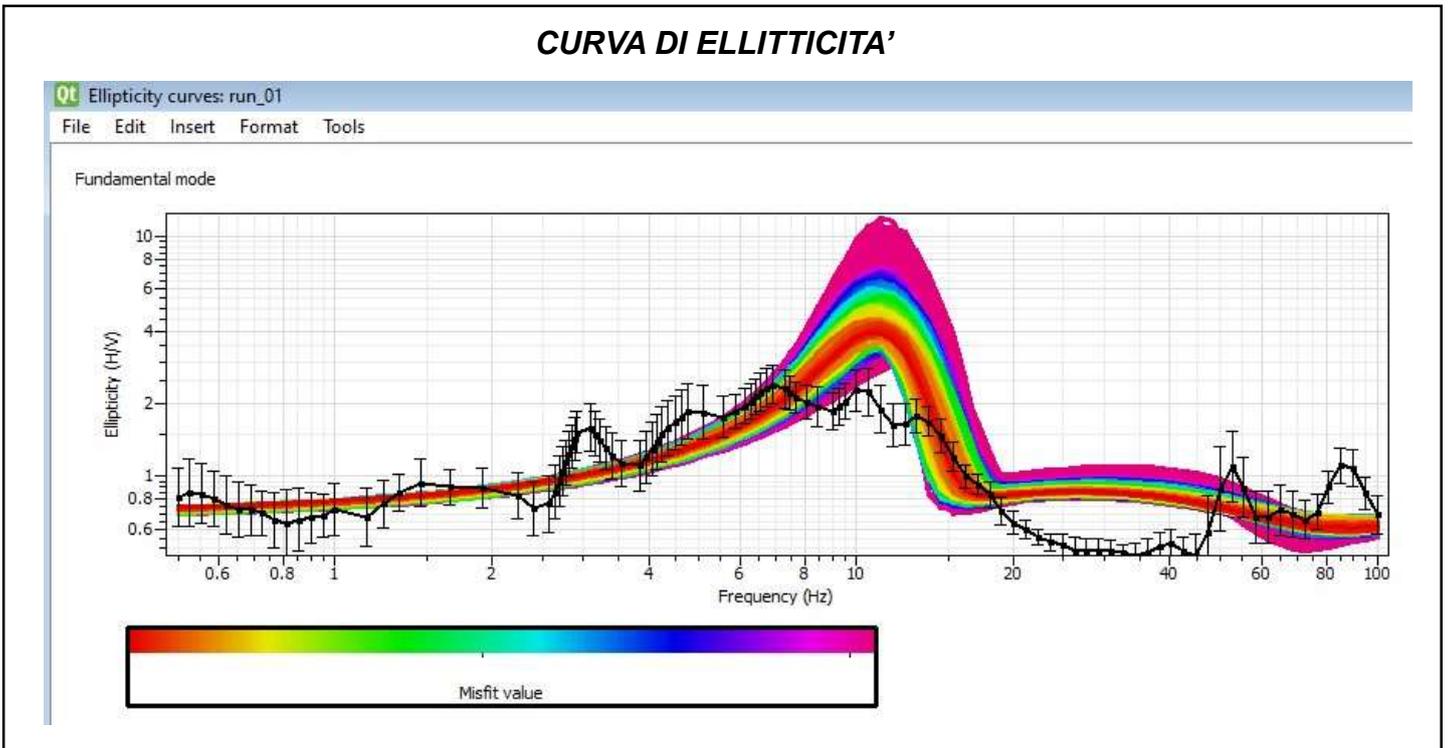
COMUNE DI TRANI (BT)

PARERE DI COMPATIBILITA' DELLE CONDIZIONI GEOMORFOLOGICHE

Via Malcangi 9-11-13-15 - Fg. 15 P.lle 1889-1890

SONDAGGIO SISMICO HVSR

CURVA DI ELLITTICITA'



CURVA DI DISPERSIONE

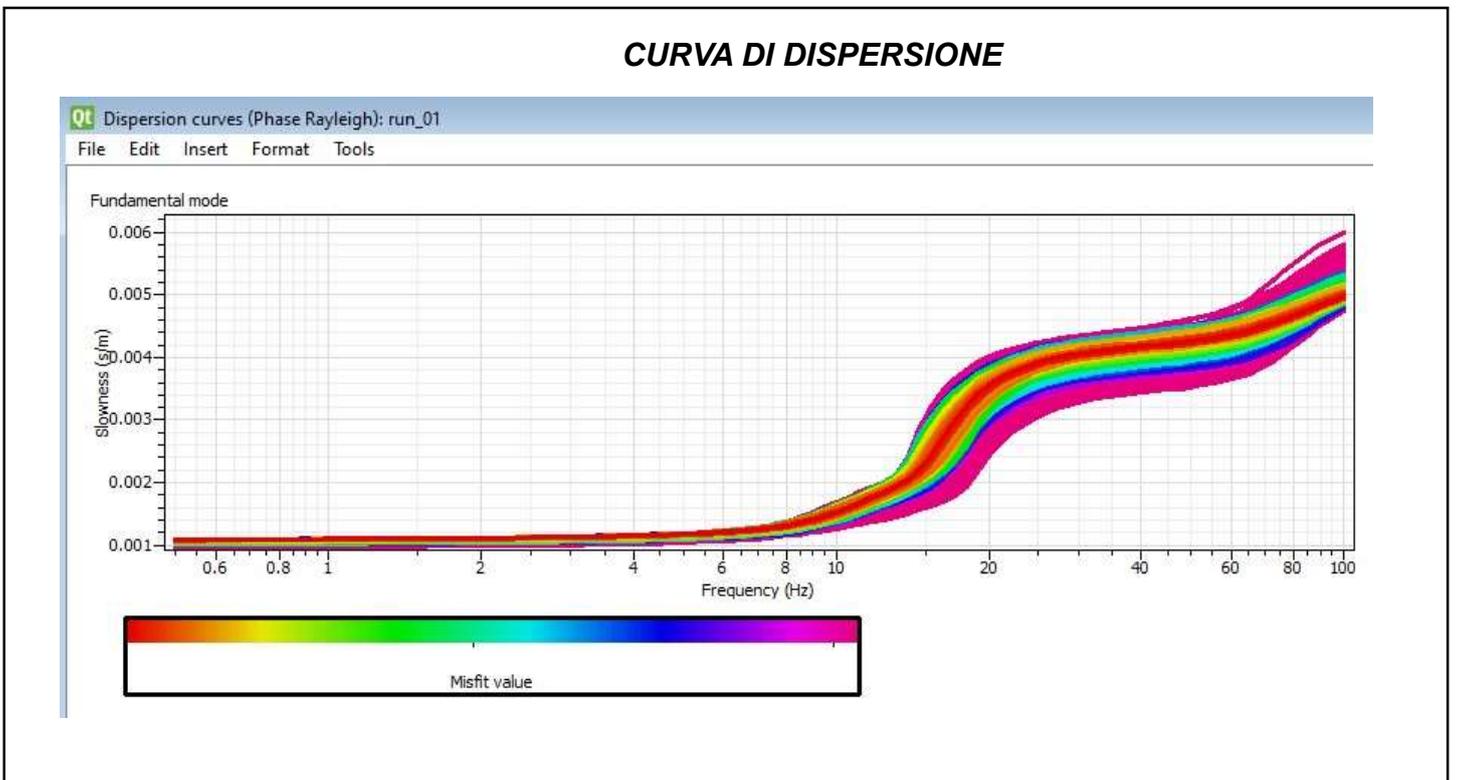


Fig. 3/B

COMUNE DI TRANI (BT)

PARERE DI COMPATIBILITA' DELLE CONDIZIONI GEOMORFOLOGICHE

Via Malcangi 9-11-13-15 - Fg. 15 P.lle 1889-1890

SONDAGGIO SISMICO HVSR PROFILI SISMICI

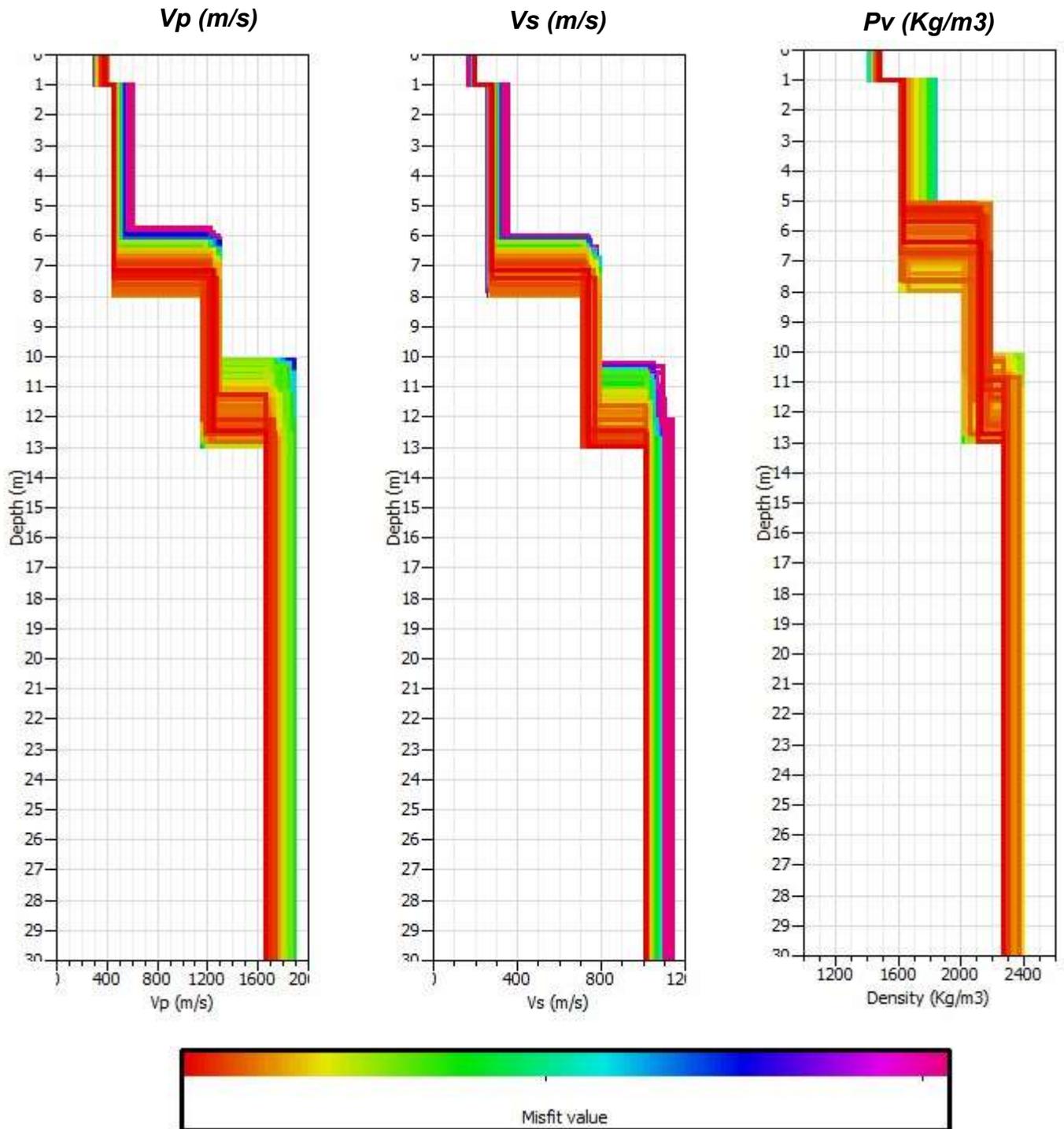


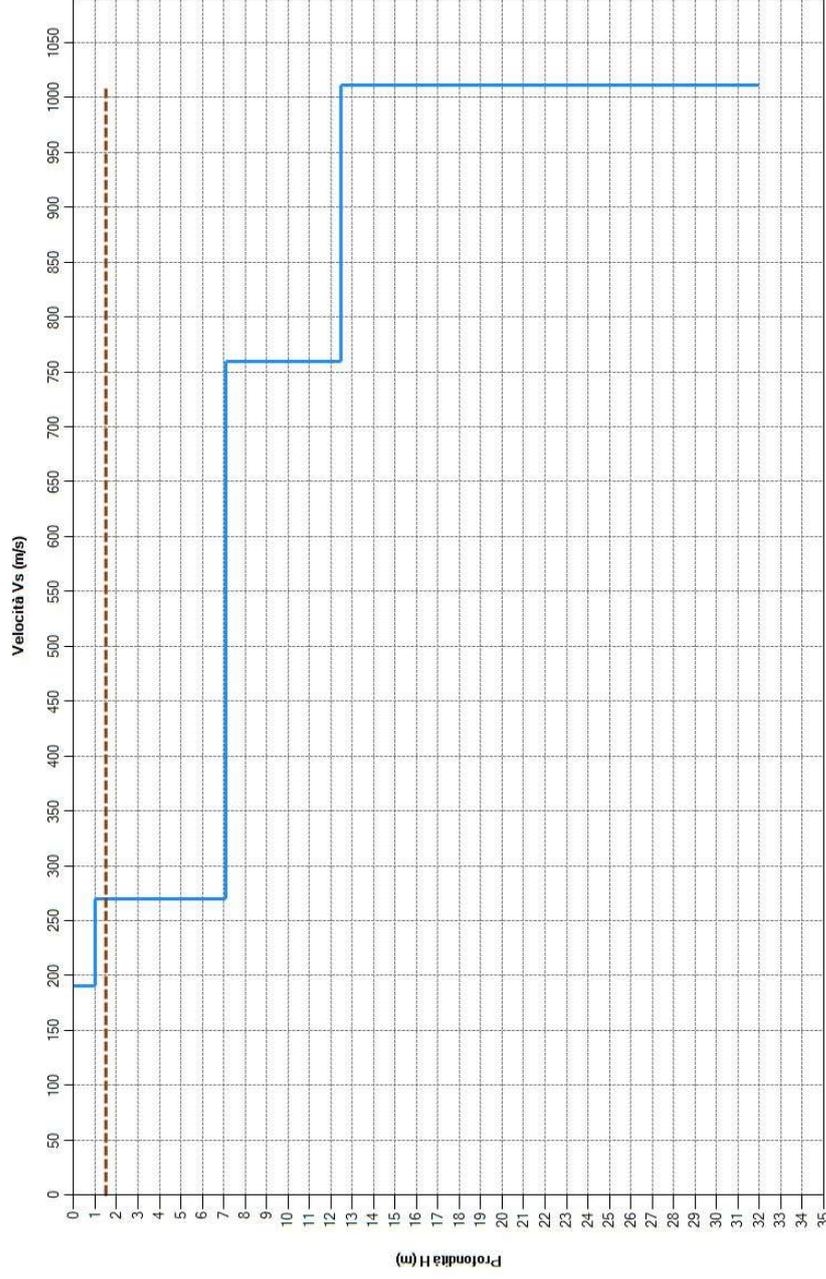
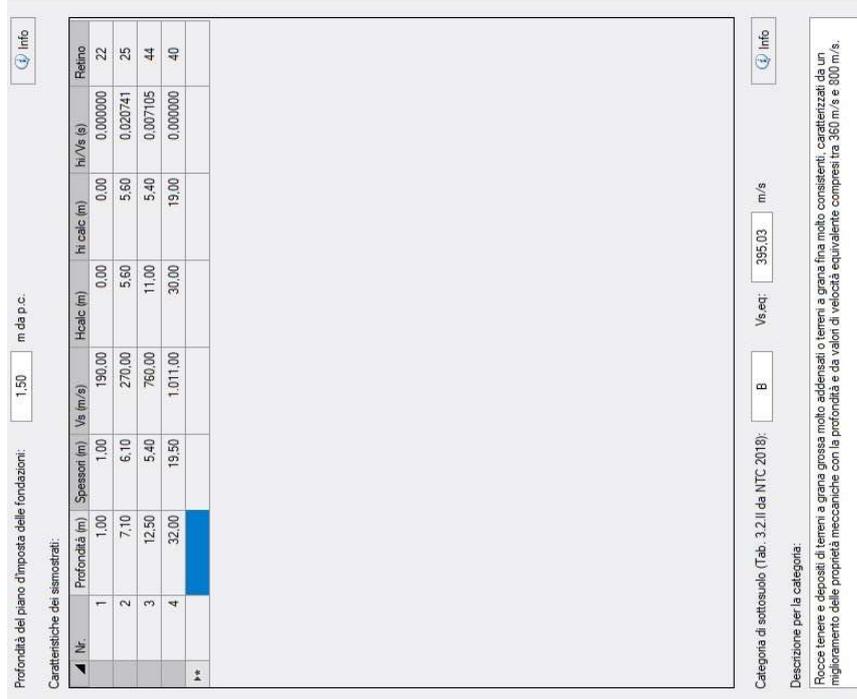
Fig. 3/C

COMUNE DI TRANI (BT)

PARERE DI COMPATIBILITA' DELLE CONDIZIONI GEOMORFOLOGICHE

Via Malcangi 9-11-13-15 - Fig. 15 P.lle 1889-1890

SONDAGGIO SISMICO HVSR - PROFILO SISMICO VS



NTC-2018: Vs_eq = 395.03 m/s; categoria di suolo 'B'

Fig. 3/D

Fig. 4

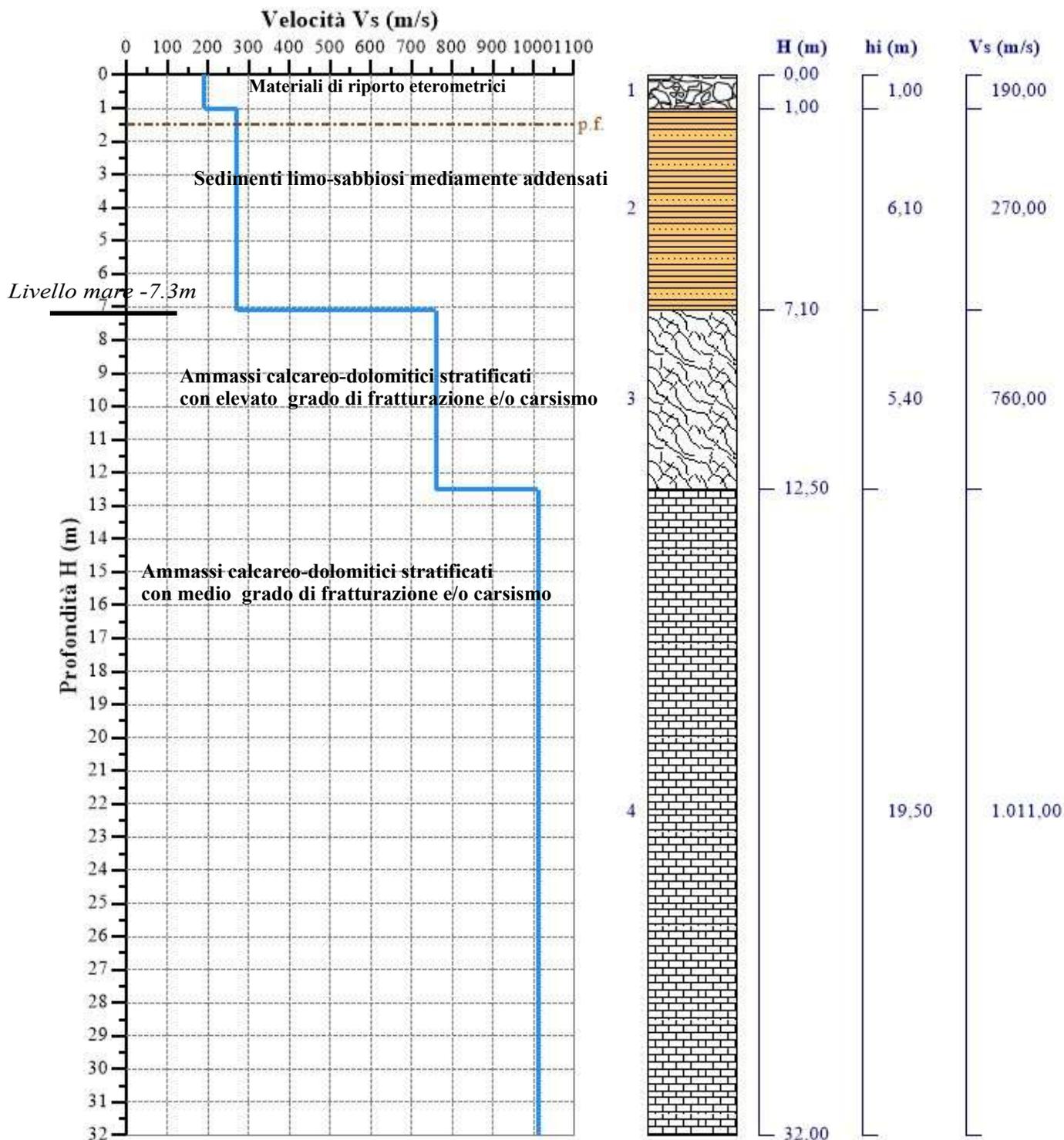
COMUNE DI TRANI

PARERE DI COMPATIBILITA' DELLE CONDIZIONI GEOMORFOLOGICHE

Colonna litostratigrafica relativa al sito in

Via Malcangi 9-11-13-15 - Fig. 15 P.lle 1889-1890

Piano stradale di Via Malcangi: superficie topografica (quota +7.3 m s.l.m.)



4. IDROGEOLOGIA

La falda presente nel sottosuolo dell'area in oggetto circola all'interno dei calcari mesozoici, che presentano una permeabilità per fessurazione e carsismo (permeabilità in grande).

Gli strati rocciosi calcarei più superficiali risultano molto permeabili ($K > 10^{-1}$ cm/sec), in quanto maggiormente esposti alla dissoluzione carsica ad opera delle acque vadose.

Dalle rilevazioni idrogeologiche si evince che la profondità di rinvenimento della falda è di 7.10 m dal piano topografico.

La profondità della falda è tale che pur considerando le ordinarie oscillazioni non si possono verificare interferenze con le strutture di fondazione.

Trattasi della falda profonda circolante all'interno degli ammassi calcarei mesozoici (*acquifero carsico*), spesso, in condizione di *'pressione'* poiché in presenza di un acquifero confinato.

La topografia dell'area prossima al sito in considerazione è tale da garantire il drenaggio delle acque meteoriche ruscellanti in superficie in direzione Nord.

5. PROSPEZIONI SISMICHE

5.1 - INDAGINE GEOFISICA MEDIANTE TECNICA DEI RAPPORTI SPETTRALI (HVSr)

Generalità sul metodo

Lo scopo di questa indagine è la caratterizzazione sismica del sottosuolo e in particolar modo l'individuazione delle discontinuità sismiche nonché la profondità della formazione più compatta, generalmente, coincidente con il bedrock geofisico. Le basi teoriche della tecnica HVSr si rifanno in parte alla sismica tradizionale (riflessione, rifrazione, diffrazione) e in parte alla teoria dei microtremiti (sismica passiva).

Le comuni vibrazioni ambientali (*rumore sismico ambientale* o *microtremiti*) sono movimenti del terreno caratterizzati da ampiezze dell'ordine di 10^{-4} – 10^{-2} mm. Queste

vibrazioni sono l'effetto di una molteplicità di sorgenti agenti a diverse frequenze: onde marine e perturbazioni atmosferiche, ad esempio, contribuiscono al campo d'onda prevalentemente a frequenze inferiori a 0.5 Hz; vento, traffico veicolare e attività industriali contribuiscono prevalentemente a frequenze superiori a 0.5 Hz. L'indipendenza dinamica delle sorgenti e la molteplicità dei percorsi delle onde da esse generate spiega la mancanza di regolarità nell'andamento temporale del campo del microtremore.

Se da un lato il carattere stocastico del fenomeno presenta difficoltà di tipo teorico, dall'altro consente, mediante operazioni di tipo statistico, di ridurre la complessità dell'analisi.

Dato che il rumore è caratterizzato da lunghezze d'onda anche molto grandi (decine o centinaia di metri), confrontabili con quelle tipiche dei fenomeni sismici, le tecniche di sismica passiva trovano una ideale applicazione negli studi della risposta sismica locale. In particolare, esse permettono di individuare situazioni sismo stratigrafiche potenzialmente responsabili di fenomeni di risonanza sismica, valutandone qualitativamente l'entità, la determinazione dei periodi di risonanza delle coperture sedimentarie e la determinazione del profilo di velocità delle onde 'S' fino a profondità dell'ordine di diverse decine di metri.

Esistono sostanzialmente due configurazioni sperimentali per lo studio del rumore sismico: la configurazione a stazione singola e quella ad antenna sismica ('*Array*').

La prima è basata sull'analisi dell'ampiezza delle componenti spettrali del campo di vibrazioni ambientali misurato nelle tre direzioni dello spazio, mentre nella seconda vengono analizzati i rapporti di fase tra i treni d'onda che attraversano un'antenna sismica (*Array*) ovvero una distribuzione di sensori disposti con geometrie variabili sulla superficie del terreno.

La prova a stazione singola, nota anche come prova Nakamura (1989) o HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio), consiste nella valutazione sperimentale dei rapporti di ampiezza spettrale fra le componenti orizzontali (H) e la componente verticale (V) delle vibrazioni ambientali sulla superficie del terreno misurati in un punto con un apposito sismometro a tre componenti. Il risultato di questa prova è una curva sperimentale che

rappresenta il valore del rapporto fra le ampiezze spettrali medie delle vibrazioni ambientali in funzione della frequenza di vibrazione.

Le frequenze alla quali la curva H/V mostra dei massimi sono legate alle frequenze di risonanza del terreno al di sotto del punto di misura.

Pertanto, questa prova ha lo scopo principale di mettere in luce la presenza di fenomeni di risonanza sismica e consentire una stima delle frequenze alle quali il moto del terreno può risultare amplificato a causa di questi fenomeni.

La determinazione della curva HVSR in sito prevede i seguenti steps:

- 1) Misura delle tre componenti X, Y, Z del moto in un punto sulla superficie libera del suolo per una durata di almeno 20 minuti;
- 2) Eliminazione manuale da parte dell'utente delle parti di segnale costituite dal disturbo arrecato da eventi transitori non conformi al rumore ambientale;
- 3) Definizione degli N intervalli o finestre temporali stazionari entro cui calcolare le curve HVSR;
- 4) Calcolo delle trasformate di Fourier delle tre componenti x, y, z del moto;
- 5) Operazione di smoothing degli spettri di Fourier;
- 6) Somma delle due componenti orizzontali X e Y;
- 7) Calcolo delle curve HVSR come rapporto spettrale tra la componente orizzontale H e la componente verticale V negli 'N' intervalli temporali stazionari;
- 8) Calcolo della curva HVSR media tra le N curve HVSR.

In sintesi, i risultati che si possono ottenere da una registrazione basata sulla tecnica di Nakamura e del rapporto spettrale H/V, sono:

- stratigrafia del sottosuolo, intendendo come 'strato' una unità geofisica distinta sulla base del rapporto di impedenza dagli strati sovrastanti e sottostanti;
- frequenza caratteristica di risonanza del sito;
- velocità media delle onde di taglio.

Dal punto di vista dell'interpretazione stratigrafica è opportuno evidenziare come la frequenza 'v' di risonanza del sismostrato dipenda dallo spessore H dello strato e dalla velocità media (V_s) delle onde S nel sedimento secondo la relazione $v=V_s/4H$.

Acquisizione dei dati sismici ed elaborazione degli spettri

L'indagine HVSR è stata eseguita con la tecnica della stazione singola adoperando uno strumento sismografico di acquisizione (tromografo 'Theremino') dotato delle seguenti caratteristiche tecniche:

- *Frequenza di campionamento: 500 hz*
- *Configurazione adc 24 Bit*
- *Durata acquisizione 20 minuti*
- *Acquisizione, visualizzazione dati e registrazione in tempo reale*
- *Formato dati acquisiti *.saf*
- *Sensori velocimetrici 4.5 hz*
- *Velocità trasmissione dato 12 Mega baud*
- *Porta USB*
- *Gain 40000 X*
- *Il rumore dell'amplificatore è minore di 0.019 uV*
- *Filtro banda passante 0.25 – 80 hz*

Il sondaggio è stato effettuato ponendo il geofono 3D alla base di uno scavo geognostico il cui fondo si colloca ad una profondità di 1-80m dalla superficie topografica; pertanto le profondità sotto riportate si riferiscono ad una quota di riferimento corrispondente a tale quota operativa.

L'elaborazione informatizzata effettuata con software 'Geopsy' e con il modulo 'Dinver' ha fornito i grafici interpretativi riportati nelle Figg. 3/A, 3/B, 3/C, 3/D.

Risultati dell'elaborazione del sondaggio HVSR

L'elaborazione dei dati sismici ha permesso una analisi congruente con le informazioni geostratigrafiche dell'area di studio.

La ricostruzione delle correlazione tra le frequenze e ed i dati geolitologici sono sintetizzati nella seguente tabella.

STRATO	FREQUENZA (Hz)	SPESSORE H (m)	V _p (m/s)	V _s (m/s)	P _v (m/s)	LITOLOGIA ASSOCIABILE
1	100-52.248 Hz	1.00	364	190	1470	Materiali di riporto eterometrici addensati
2	52.248-13.097 Hz	6.10	440	270	1623	Sedimenti limo- sabbiosi mediamente addensati
3	13.097-6.88 Hz	5.40	1240	760	2127	Sedimenti limo- sabbiosi addensati
4	<6.88 Hz	indefinito	1685	1011	2280	Ammassi rocciosi calcarei fratturati (bedrock)

L'indagine geosismica ha permesso di ricavare alcuni parametri fondamentali correlabili alla risposta sismica locale.

- frequenza di risonanza del sottosuolo: 6.88 Hz;
- periodo oscillatorio fondamentale: 0.161 s;
- fattore di amplificazione dinamica ('*FAD*'): 2.22.

La '*V_s-equivalente*' valutata in base alle indicazioni contenute nelle N.T.C. 2018 è di 395.03 m/s. La categoria di suolo è la 'B'.

5.2 – SISMICA A RIFRAZIONE E MASW

Ai fini di un riscontro attendibile sull'effettivo assetto stratigrafico del sito viene anche considerata una prospezione sismica attiva. Su un suolo prossimo all'area in esame è stato eseguito un profilo sismico a rifrazione ed una indagine geosismica col metodo *MASW* al fine di caratterizzare la V_{s-eq} dei terreni fondazionali e definire conseguentemente la categoria di suolo. L'indagine geofisica ha permesso di determinare le caratteristiche elasto-meccaniche e la geometria dei litotipi costituenti l'immediato sottosuolo.

La prospezione sismica ha evidenziato la presenza di un orizzonte sismico superficiale, immediatamente sottostante i materiali di riporto, caratterizzato da velocità di propagazione delle onde elastiche longitudinali pari a 680 m/s ($V_s=400\text{m/s}$). Tale orizzonte, dello spessore medio di 6.8 m è riconducibile a sedimenti limo-sabbiosi mediamente addensati.

Inferiormente si colloca un sismostrato caratterizzato da una velocità di propagazione delle onde longitudinali di 1500 m/s ($V_s=900$ m/s). Trattasi di ammassi calcarei con alto grado di fatturazione e/o carsismo.

La determinazione della V_{s-eq} ha fornito il valore di 400 m/s associata alla Categoria 'B'.

6. MODELLAZIONE SISMICA DI BASE

Il moto generato da un terremoto in un sito dipende dalle particolari condizioni locali, cioè dalle caratteristiche topografiche e stratigrafiche dei depositi di terreno e degli ammassi rocciosi e dalle proprietà fisiche e meccaniche dei materiali che li costituiscono. Per la singola opera o per il singolo sistema geotecnico la risposta sismica locale consente di definire le modifiche che un segnale sismico subisce, a causa dei fattori anzidetti, rispetto a quello di un sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale.

I parametri per la definizione dello spettro elastico consentono di definire la pericolosità sismica di base, ottenendo i seguenti elementi.

- *Vita nominale (V_n):* 50 [anni]
- *Classe d'uso:* II
- *Coefficiente d'uso (C_u):* 1
- *Periodo di riferimento (V_r):* 50 [anni]

Periodo di ritorno (Tr) SLO:	30 [anni]
Periodo di ritorno (Tr) SLD:	50 [anni]
Periodo di ritorno (Tr) SLV:	475 [anni]
Periodo di ritorno (Tr) SLC:	975 [anni]

Coordinate geografiche del punto	
Latitudine (WGS84):	41,2740173 [°]
Longitudine (WGS84):	16,4246140 [°]
Latitudine (ED50):	41,2749901 [°]
Longitudine (ED50):	16,4254417 [°]

Nella valutazione dell'azione sismica per le strutture di fondazione e nella stabilità dei pendii i coefficienti k_h e k_v sono così determinati:

$$k_h = \beta_s \cdot \left(\frac{a_{\max}}{g} \right) \quad (5.2)$$

$$k_v = \pm 0.5 \cdot k_h \quad (5.3)$$

Con

- β_s coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito;
- a_{\max} accelerazione orizzontale massima attesa al sito;
- g accelerazione di gravità.

I valori di β_s sono riportati nella tabella 5.1.

Tabella - Coefficienti di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito.

	Categoria di sottosuolo	
	A	B, C, D, E
	β_s	β_s
$0.2 < a_g(g) \leq 0.4$	0.30	0.28
$0.1 < a_g(g) \leq 0.2$	0.27	0.24
$a_g(g) \leq 0.1$	0.20	0.20

Tutti i fattori presenti nelle precedenti formule dipendono dall'accelerazione massima attesa al sito di riferimento rigido e dalle caratteristiche geomorfologiche del territorio.

$$a_{\max} = S_s \cdot S_T \cdot a_g \quad (5.4)$$

S_s (effetto di amplificazione stratigrafica) ($0.90 \leq S_s \leq 1.80$) è funzione di F_0 (Fattore massimo di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale) e della categoria di suolo (A, B, C, D, E). e del rapporto a_g/g . S_T (effetto di amplificazione topografica), varia con il variare delle quattro categorie topografiche:

$$\mathbf{T1: } S_T = 1.0; \mathbf{T2: } S_T = 1.20; \mathbf{T3: } S_T = 1.20; \mathbf{T4: } S_T = 1.40.$$

Per quanto esposto, nel sito in esame si ottengono i seguenti parametri ed i relativi spettri di risposta.

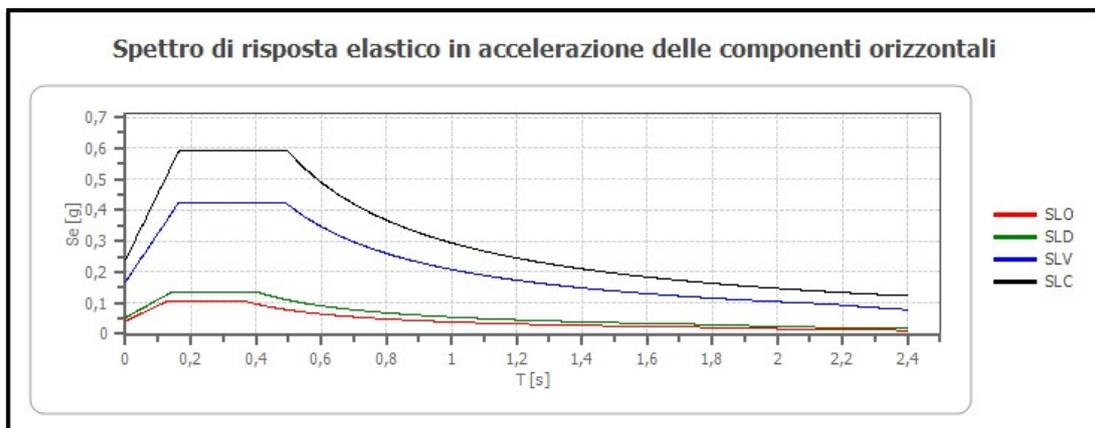
Punto d'indagine

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,035	2,503	0,258
SLD	50	0,044	2,515	0,294
SLV	475	0,140	2,520	0,366
SLC	975	0,199	2,483	0,370

Stabilità di pendii e fondazioni

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0,008	0,011	0,040	0,057
kv	0,004	0,005	0,020	0,029
amax [m/s ²]	0,408	0,517	1,652	2,345
Beta	0,200	0,200	0,240	0,240

- **Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali**



	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	η [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
SLO	1,0	0,035	2,503	0,258	1,200	1,440	1,000	1,200	1,000	0,124	0,371	1,739	0,042	0,104
SLD	1,0	0,044	2,515	0,294	1,200	1,400	1,000	1,200	1,000	0,137	0,412	1,776	0,053	0,133
SLV	1,0	0,140	2,520	0,366	1,200	1,340	1,000	1,200	1,000	0,164	0,491	2,161	0,168	0,424
SLC	1,0	0,199	2,483	0,370	1,200	1,340	1,000	1,200	1,000	0,165	0,496	2,397	0,239	0,594

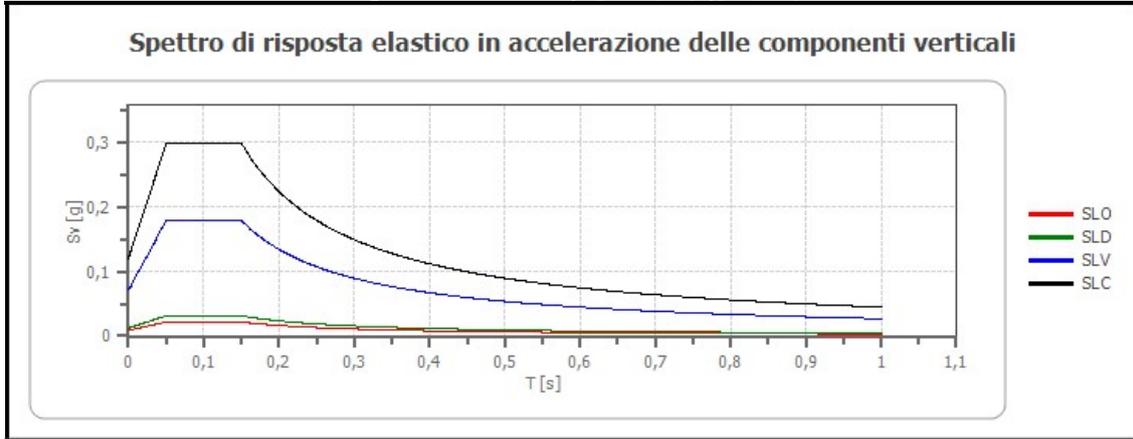
Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali

Coefficiente di smorzamento viscoso ξ :

5 %

Fattore di alterazione dello spettro elastico $\eta = [10/(5+\xi)]^{(1/2)}$:

1,000



	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	η [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
SLO	1,0	0,035	2,503	0,258	1	1,440	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,009	0,022
SLD	1,0	0,044	2,515	0,294	1	1,400	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,012	0,031
SLV	1,0	0,140	2,520	0,366	1	1,340	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,071	0,179
SLC	1,0	0,199	2,483	0,370	1	1,340	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,120	0,298

7. CARATTERI GEOTECNICI

Le indagini geofisiche di riferimento ed il rilevamento geologico di superficie hanno consentito la ricostruzione del quadro litostratigrafico dell'area in esame (Fig. 4).

La modellazione geotecnica del sottosuolo può essere riassunta attraverso i seguenti parametri:

<i>Parametro</i>	Unità di misura	Simbolo	Strato 1	Strato 2	Strato 3	Strato 4
<i>Descrizione litologica</i>			<i>Materiali di riporto eterometrici</i>	<i>Sabbie med. Addens.</i>	<i>Ammassi rocciosi calcarei con elevato grado di fratturazione e</i>	<i>Ammassi rocciosi calcarei mediamente fratturati</i>
<i>Spessore</i>	[m]	H	1.0	6.10	5.40	<i>Indefinito</i>
<i>Angolo di attrito</i>	[°]	φ'_k	18	32	35	37
<i>Coesione efficace</i>	[kg/cm ²]	c'_k	0	0.3	1	2
<i>Coesione non drenata</i>	[kg/cm ²]	c_{uk}	---	---	1	2
<i>Peso dell'unità di volume</i>	[Kg/m ³]	γ_k	1470	1623	2127	2280
<i>Rock Quality Designation</i>	[%]	RQD	---	---	45	55
<i>Indice di Bieniawski di base</i>	[-]	RMRb	--	--	65	70
<i>Indice di Bieniawski corretto</i>	[-]	RMRc	--	--	50	55
<i>Modulo di Elasticità dinamico</i>	[kg/cm ²]	E_k	6000	8000	20000	36000
<i>Modulo di Poisson</i>	[-]	ν_k	0.35	0.32	0.30	0.30
<i>Modulo elastico statico</i>	[kg/cm ²]	E	300	400	1000	1800
<i>Modulo edometrico</i>	[kg/cm ²]	E _{ed}	351	468	--	--
<i>Modulo di rigidità</i>	[kg/cm ²]	G	2000	3000	6000	7000
<i>Velocità onde P</i>	[m/s]	V _p	364	440	1240	1685
<i>Velocità onde S</i>	[m/s]	V _s	190	270	760	1011

Il modello geologico-tecnico mostra, graficamente, la successione dei litotipi nei primi metri di profondità ed evidenzia la presenza del *bedrock geologico* alla profondità di 7.10 m e del *bedrock sismico* ($V_s > 800 \text{ m/s}$), ad una profondità di -12.50 m dal p.c.

La frequenza di risonanza del sottosuolo è di 6.88 Hz corrispondente ad un periodo oscillatorio fondamentale di 0.161 s.

Il fattore di amplificazione è di 2.22. La '*V_s- equivalente*' valutata in base alle indicazioni contenute nelle N.T.C. 2018 è di 395.03 m/s.

La categoria di suolo è la 'B' equivalenti a "*Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina 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*". In base alla normativa vigente (DM 17 Gennaio 2018) la categoria topografica è 'T1'.

8. CONCLUSIONI

Lo studio ha esaminato le condizioni geomorfologiche del territorio ai sensi del dell'Art. 89 del D.P.R. 380/2001 e ss.mm.ii..

Le conoscenze geomorfologiche, geologiche, sismiche, idrogeologiche e geotecniche del sottosuolo dell'area interessata dal Piano Urbanistico Esecutivo corrispondente alla Maglia '*Bs.ad./19*' consentono di attestare quanto segue:

- In merito alla fattibilità idrogeologica si rilevano condizioni positive in quanto la falda si colloca ad una profondità di -7.10m dal piano topografico e pur considerando le ordinarie oscillazioni non possono verificarsi interferenze con le strutture di fondazione.
- In merito alla fattibilità idraulica si rilevano condizioni positive e congruenti con le disposizioni contenute nelle NTA del Piano per l'Assetto Idrogeologico (PAI) poiché il sito non ricade in aree a pericolosità idraulica e non ricade in area golenale o nelle contermini aree di pertinenza fluviale.
- In merito alla fattibilità geomorfologica si rilevano condizioni positive in quanto il sito non ricade in aree perimetrate tra quelle a '*Pericolosità geomorfologica*' ed ai sensi dell'art. 89 del D.P.R. 6 Giugno 2001 n. 380/2001 non potranno verificarsi alterazioni della morfologia pianeggiante preesistente preservando l'assetto geomorfologico originario del territorio.

- In merito alla fattibilità sismica si rilevano condizioni positive congruenti con le disposizioni delle NTC-2018 poiché le prospezioni geosismiche hanno consentito di determinare il valore della V_{s-eq} (395.036 m/s) attribuendo al sito la categoria di sottosuolo 'B'.
- In merito alla fattibilità geologica e geotecnica si rilevano condizioni positive in quanto le indagini geosismiche hanno accertato che il sottosuolo è costituito da sedimenti limo-sabbiosi mediamente addensati formanti discreti terreni di fondazioni. Il bedrock geologico si colloca alla profondità di -7.10m dal piano topografico.

Per le predette motivazioni si rilevano nel complesso le condizioni geomorfologiche di compatibilità del territorio includente la Maglia di PUE 'Bs.ad/19', evidenziate ai fini dell'art. 89 del DPR 380/2001

Andria, 25 Giugno 2020



dr. geol. Francesco Bartucci