

**DOTT. GIANFRANCO CORBUCCI**  
**STUDIO DI GEOLOGIA**

**RELAZIONE GEOLOGICA**

**OGGETTO: Piano attuativo zona C3.**

**COMMITTENTE: *MA.FE. S.r.l.***

<b>UBICAZIONE</b>  Regione: <i>Umbria</i>  Provincia: <i>Perugia</i>  Comune: <i>Torgiano</i>  Località: <i>Campo Boaro</i>	P.P.V. IL PROGETTISTA	<b>Dott. Gianfranco Corbucci</b>
	P.P.V. IL CALCOLATORE	
		<b>Data: Maggio 2013</b>

# STUDIO GEOLOGICO PER PIANO ATTUATIVO FINALIZZATO ALLA LOTTIZZAZIONE DI TERRENI IN ZONA C3.

LOCALITA': CAMPO BOARO – COMUNE: TORGIANO (PG)

COMMITTENTE: MA.FE. S.R.L.

## 1.0 Premessa

La relazione espone i risultati di un'indagine geologica volta ad accertare le caratteristiche geologiche, geomorfologiche e idrogeologiche di un'area ove si intende procedere ad un piano attuativo per terreni in zona C3.

Lo studio, esteso ad un intorno significativo al sito di interesse, si è avvalso di dati derivanti da prospezioni effettuate a corredo di precedenti interventi in aree limitrofe ed è stato approfondito tramite una dettagliata campagna di indagini in sito come descritto nei paragrafi successivi, i dati acquisiti hanno permesso di delineare la sequenza litostratigrafica locale e parametrizzare sotto il profilo geomeccanico le unità litotecniche subaffioranti.

## 2.0 Collocazione geografica

L'area in oggetto risulta parte integrante della pianura alluvionale localizzata immediatamente a settentrione del rilievo collinare ove sorge il centro storico del comune di Torgiano (PG), a nord della confluenza tra i fiumi Chiascio e Tevere. Le quote sono prossime ai 192 m s.l.m. La zona è inclusa nel foglio n° 122 – *Perugia* della Carta d'Italia e ricade nella tavoletta *Torgiano – II SE*. Il sito ricade inoltre nella Sezione n° 311140 – *Torgiano* della Carta Tecnica della Regione Umbria (scala 1:10.000). L'area in esame è distinta al N.C.T. del comune di Torgiano (PG) al foglio n° 28, particelle n° 705, 707, 971, 972 e 975. Il P.R.G. vigente del comune di Torgiano (PG) classifica l'area come zona C3.

## 3.0 Caratteristiche geologiche e geomorfologiche

Un attento rilevamento di campagna effettuato nella aree limitrofe alla zona di interesse ha consentito di ricostruire l'assetto geologico – strutturale del sito in esame, accertando le litofacies e le caratteristiche tessiturali dei terreni. L'approfondita conoscenza della zona, unitamente alle osservazioni condotte e alle prospezioni effettuate, ha permesso di accertare che i terreni in esame sono costituiti da depositi alluvionali terrazzati del Fiume Tevere (*bn1, an*), non in rapporto con la morfologia attuale, in assetto suborizzontale, che sovrastano stratigraficamente il complesso plio – pleistocenico fluvio – lacustre del Villafranchiano s.s. Le facies alluvionali dominanti sono rappresentate da limi sabbiosi e sabbie limose, da scarsamente e mediamente addensati, intercalate a lenti e livelli ghiaioso sabbiosi. Le geometrie lenticolari dei depositi, la successione sedimentaria, i contatti eteropici, unitamente all'assetto morfologico dell'area, attestano che i terreni subaffioranti sono di chiara origine fluviale e sono riferibili ai cicli erosivo – deposizionali legati alla variazione del regime idraulico del Fiume Tevere e dei suoi tributari. I sedimenti alluvionali descritti poggiano su terreni fluvio – lacustri di età villafranchiana, costituiti da limi e limi argillosi di colore grigiastro – azzurrognolo generalmente sovraconsolidati. Tali terreni poggiano, a loro volta, in modo discordante sulla formazione litoide Marnoso – Arenacea Umbra (Aquitaniense – Langhiano), presente verosimilmente da circa 30 m di profondità, che costituisce il basamento delle prospicienti strutture collinari. Localmente, a monte dell'area di interesse, si rileva la presenza di materiale di origine eluvio – colluviale e detritico, costituito prevalentemente da sabbie limose scarsamente addensate con clasti arenacei; il deposito presenta spessori variabili e si caratterizza per scarsa classazione ed assenza di stratificazione.

L'indagine geomorfologica è stata svolta mediante sopralluoghi finalizzati all'individuazione della morfogenesi in atto e alla definizione del trend dell'area. La zona è ascrivibile all'area valliva aperta a fondo piatto con direttrice circa N – S, calibrata nel tempo dall'azione modellatrice del Fiume Tevere e dai suoi tributari. L'andamento del tracciato fluviale mostra una natura prevalentemente articolata e meandriforme con dinamica evolutiva accentuata. Il profilo topografico appare leggermente declinante verso NW. L'indagine visiva ha permesso di verificare l'assenza di morfosculture significative (scarpate morfologiche, linee preferenziali di deflusso, ecc.). La pendenza blanda dell'area in esame conferisce alla medesima una buona stabilità geomorfologica, testimoniata dall'assenza di fenomeni gravitativi o di fenomeni di dissesto sia latenti sia in atto. Tali caratteristiche morfologiche implicano la possibilità che si verifichino fenomeni di ristagno idrico legati al limitato deflusso. La successiva verifica degli elaborati del Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico del Bacino del Fiume Tevere, ha confermato le evidenze riscontrate nel corso del rilevamento geomorfologico di terreno condotto. In allegato è riportato un estratto della Tavola n° 231 del Piano citato. La consultazione delle cartografie ufficiali (tra cui la "*Carta inventario dei movimenti franosi della Regione Umbria ed aree limitrofe*" del C.N.R.) ha permesso di verificare l'assenza di fenomeni gravitativi e/o indizi morfologici tali da far presupporre fenomeni gravitativi di instabilità in atto o prevedibili nel medio termine.

## 4.0 Idrografia ed idrogeologia

L'idrografia superficiale appare organizzata secondo pattern idrografici a tracciato circa rettilineo, generalmente conseguenti al pendio, con divagazione dei corsi d'acqua sulla pianura alluvionale (valli con profilo simmetrico e fondo piatto), che drenano i fianchi vallivi prospicienti e recapitano le acque di deflusso

verso il Fiume Tevere, livello di base dell'intera rete idrografica. I collettori secondari presenti nelle vicinanze del Fiume Tevere si caratterizzano per regimi stagionali con portate spasmodiche e secche prolungate, in stretta dipendenza con i regimi pluviometrici. A margine della proprietà in esame e nelle aree limitrofe sono presenti canalizzazioni di origine antropica volte a garantire un adeguato deflusso delle acque superficiali e la fruibilità dei fondi agricoli. La densità di drenaggio è medio – alta, con indice di biforcazione medio – basso e apparentemente senza anomalie gerarchiche. La relativa distanza dal Fiume Tevere e dai corsi d'acqua di interesse, oltre alla quota rialzata rispetto agli stessi, salvaguardano il sito da pericoli di alluvionamento. Eventuali rischi di impaludamento sussistono in conseguenza di eventi meteorici straordinari per intensità e persistenza. La successiva verifica degli elaborati del Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico del Bacino del Fiume Tevere – *Fasce fluviali e zone a rischio*, ha confermato le evidenze riscontrate nel corso del rilevamento condotto. In allegato è riportato un estratto della Tavola n° 9 del Piano citato.

Dal punto di vista idrogeologico l'indagine è stata condotta attraverso la misura del livello piezometrico dei punti d'acqua esistenti nelle prospicenze dell'area in oggetto, unitamente alle conoscenze acquisite in studi ed indagini effettuati in zone limitrofe. La circolazione idrica sotterranea risulta chiaramente influenzata sia dalla situazione geologico – strutturale dei depositi sia dalle caratteristiche tessiturali, sedimentologiche e stratigrafiche dei sedimenti affioranti. In particolare, nell'area valliva affiorano depositi alluvionali eterogenei dal punto di vista litologico e tessiturale. In tale area, la circolazione idrica sotterranea si caratterizza per la presenza di orizzonti saturi posti a variabile profondità dal piano campagna, verosimilmente interconnessi con i collettori di deflusso superficiale, nonché alimentati da infiltrazione delle acque meteoriche. In tale dominio sono presenti falde freatiche con livelli piezometrici che possono attestarsi anche in prossimità del piano campagna. L'indagine su pozzi presenti nelle immediate vicinanze dell'area di interesse ha permesso di verificare la presenza di una falda freatica superficiale. Il livello piezometrico subisce significative variazioni legate ai meccanismi di ricarica e all'effetto dell'emungimento idrico sia per scopi idropotabili sia irrigui stagionali. Da misurazioni effettuate su pozzi posti nelle aree limitrofe a quella d'indagine, il livello della falda si attesta a circa **8 m** di profondità dal piano campagna naturale, subendo variazioni in dipendenza con i regimi pluviometrici. L'alimentazione del corpo idrico sopra descritto è del tipo diretto: le acque di percolazione raggiungono i livelli sabbiosi sede dell'acquifero e si stabilizzano secondo il gradiente idraulico al tetto di livelli a bassa permeabilità, rappresentati da limi argillosi o argille limose disposti in strati o lenti discretamente potenti e discontinui lateralmente; tali litotipi costituiscono il letto dell'acquifero freatico che, per sua natura, presenta una discreta potenzialità. In considerazione della peculiare situazione idrogeologica, è verosimile la presenza di vari livelli produttivi e di oscillazioni stagionali del livello piezometrico. Sono inoltre ipotizzabili falde idriche temporanee nei livelli superficiali di terreno, in periodi di particolare piovosità, con alimentazione per infiltrazione efficace e ruscellamento dal soprastante pendio, interconnesse con soglie di permeabilità relative dettate da eteropie di facies all'interno del complesso alluvionale e/o fluvio – lacustre.

### **5.0 Indagini geognostiche**

L'indagine è consistita in:- uno studio geologico finalizzato alla individuazione delle caratteristiche geologico – stratigrafiche, geomorfologiche ed idrogeologiche;

- uno studio geotecnico volto all'individuazione delle caratteristiche geomeccaniche del terreno di fondazione.

La campagna d'indagine è stata articolata in:

- n° 5 prove penetrometriche dinamiche, finalizzate alla caratterizzazione geomeccanica dei terreni di interesse;
- n° 2 indagini sismiche passive a stazione singola mediante tecnica dei rapporti spettrali (*HVSR*).

### **5.1 Prove penetrometriche dinamiche**

Le informazioni acquisite durante il rilevamento geologico della zona, i dati derivanti da indagini e perforazioni effettuate in aree limitrofe, sono stati integrati mediante l'esecuzione di n° 5 prove penetrometriche dinamiche nell'area di interesse. Le indagini sono state finalizzate alla verifica delle caratteristiche geomeccaniche dei materiali di imposta e alla parametrizzazione di tali depositi sotto il profilo geomeccanico, attraverso correlazioni basate sul valore della resistenza dinamica della punta ( $R_{pd}$  – Kg/cm<sup>2</sup>), fornito dall'indagine penetrometrica e riportato nei certificati allegati a fianco dei range di profondità dei singoli intervalli omogenei individuati. Le prove sono state effettuate con l'attrezzatura e le modalità di seguito riportate.

<b>PENETROMETRO DINAMICO PAGANI</b>	
<b>TG 30 – 20 (4x4)</b>	
Massa battente	M = 30 Kg
Altezza di caduta	H = 20 cm
Avanzamento prefissato	$\delta$ = 10 cm
Superficie punta	A = 10 cm <sup>2</sup>
Diametro punta	$\varnothing$ = 35.7 mm
Numero colpi punta	N = N (10)

### **PROVA PENETROMETRICA n° 1 (CERTIFICATO n° 2013/16)**

La prospezione è stata spinta sino alla profondità di 7.8 m (per l'ubicazione si rimanda agli allegati

cartografici) e ha evidenziato dati stratigrafici e di resistenza dei materiali che possono essere brevemente riassunti in:

- da 0.0 m a 1.0 m: *terreno vegetale*;
- da 1.0 m a 2.0 m: *limi sabbiosi* scarsamente addensati (Rpd = 10.9 Kg/cm<sup>2</sup>);
- da 2.0 m a 7.2 m: *limi sabbiosi* (Rpd = 30.4 Kg/cm<sup>2</sup>);
- da 7.2 m a 7.8 m (termine prospezione): *limi argilloso – sabbiosi* (Rpd = 42.8 Kg/cm<sup>2</sup>).

#### PROVA PENETROMETRICA n° 2 (CERTIFICATO n° 2013/16)

La prospezione è stata spinta sino alla profondità di 7.8 m (per l'ubicazione si rimanda agli allegati cartografici) e ha evidenziato dati stratigrafici e di resistenza dei materiali che possono essere brevemente riassunti in:

- da 0.0 m a 0.4 m: *terreno vegetale*;
- da 0.4 m a 2.2 m: *limi sabbiosi* scarsamente addensati (Rpd = 13.3 Kg/cm<sup>2</sup>);
- da 2.2 m a 7.8 m (termine prospezione): *limi sabbiosi* (Rpd = 33.7 Kg/cm<sup>2</sup>).

#### PROVA PENETROMETRICA n° 3 (CERTIFICATO n° 2013/16)

La prospezione è stata spinta sino alla profondità di 7.8 m (per l'ubicazione si rimanda agli allegati cartografici) e ha evidenziato dati stratigrafici e di resistenza dei materiali che possono essere brevemente riassunti in:

- da 0.0 m a 1.4 m: *terreno vegetale*;
- da 1.4 m a 7.1 m: *limi sabbiosi* (Rpd = 30.9 Kg/cm<sup>2</sup>);
- da 7.1 m a 7.8 m (termine prospezione): *limi argilloso – sabbiosi* (Rpd = 42.3 Kg/cm<sup>2</sup>).

#### PROVA PENETROMETRICA n° 4 (CERTIFICATO n° 2013/16)

La prospezione è stata spinta sino alla profondità di 7.8 m (per l'ubicazione si rimanda agli allegati cartografici) e ha evidenziato dati stratigrafici e di resistenza dei materiali che possono essere brevemente riassunti in:

- da 0.0 m a 0.9 m: *terreno vegetale*;
- da 0.9 m a 2.1 m: *limi sabbiosi* scarsamente addensati (Rpd = 10.5 Kg/cm<sup>2</sup>);
- da 2.1 m a 7.8 m (termine prospezione): *limi sabbiosi* (Rpd = 34.4 Kg/cm<sup>2</sup>).

#### PROVA PENETROMETRICA n° 5 (CERTIFICATO n° 2013/16)

La prospezione è stata spinta sino alla profondità di 7.8 m (per l'ubicazione si rimanda agli allegati cartografici) e ha evidenziato dati stratigrafici e di resistenza dei materiali che possono essere brevemente riassunti in:

- da 0.0 m a 0.9 m: *terreno vegetale*;
- da 0.9 m a 2.1 m: *limi sabbiosi* scarsamente addensati (Rpd = 11.2 Kg/cm<sup>2</sup>);
- da 2.1 m a 7.8 m (termine prospezione): *limi sabbiosi* (Rpd = 35.0 Kg/cm<sup>2</sup>).

### 6.0 Caratterizzazione geotecnica dei terreni

I dati derivanti dalle prospezioni effettuate nell'area di interesse e da quelle condotte a corredo di precedenti studi realizzati in aree limitrofe, consentono di estrapolare e parametrizzare le caratteristiche geotecniche dei terreni in esame. Si forniscono di seguito i parametri *più cautelativi* di riferimento.

#### Limi sabbiosi scars. addensati (N<sub>SPT</sub> = 3)

c'	=	0.00 t/m <sup>2</sup>
γ <sub>sat</sub>	=	1.86 t/m <sup>3</sup>
γ <sub>d</sub>	=	1.38 t/m <sup>3</sup>
φ'	=	27°
D <sub>r</sub>	=	11.3%
K <sub>0</sub>	=	0.6 Kg/cm <sup>3</sup>

#### Limi sabbiosi (N<sub>SPT</sub> = 11)

c'	=	0.00 t/m <sup>2</sup>
γ <sub>sat</sub>	=	1.94 t/m <sup>3</sup>
γ <sub>d</sub>	=	1.51 t/m <sup>3</sup>
φ'	=	30°
D <sub>r</sub>	=	36.5%
K <sub>0</sub>	=	1.5 Kg/cm <sup>3</sup>

#### Limi argilloso – sabbiosi (N<sub>SPT</sub> = 18)

c'	=	0.00 t/m <sup>2</sup>
γ <sub>sat</sub>	=	1.98 t/m <sup>3</sup>
γ <sub>d</sub>	=	1.57 t/m <sup>3</sup>
φ'	=	32°
D <sub>r</sub>	=	47.0%
K <sub>0</sub>	=	2.0 Kg/cm <sup>3</sup>

## **7.0 Indagine sismica passiva (HVSR)**

Ai fini di una completa e coerente definizione del quadro geologico evidenziato, sono stati analizzati i dati derivanti da un'indagine sismica passiva a stazione singola, mediante tecnica dei rapporti spettrali (HVSR), finalizzata alla caratterizzazione sismica del sottosuolo e, in particolare, all'individuazione delle discontinuità sismiche e alla ricostruzione della profondità puntuale del substrato (bedrock geofisico). Lo scopo di questa indagine è di determinare la frequenza tipica di risonanza del sito e di stimare la velocità di propagazione delle onde di taglio ( $V_{s,30}$ ) come esplicitamente richiesto dalle Norme Tecniche per le Costruzioni del 14 gennaio 2008. L'indagine geofisica proposta si avvale della metodologia basata sulla tecnica di Nakamura che rapporta lo spettro di risposta del substrato roccioso (rapporto spettrale  $H/V = 1$ ) con quello effettivamente misurato in superficie. La tecnica dei rapporti spettrali o HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) è totalmente non invasiva, molto rapida, si può applicare ovunque e non necessita di nessun tipo di perforazione, né di stendimenti di cavi, né di energizzazioni esterne diverse dal rumore ambientale (esistente ovunque in natura). Le basi teoriche della tecnica HVSR si rifanno in parte alla sismica tradizionale (riflessione, rifrazione, diffrazione) ed in parte alla teoria dei microtremiti. La tecnica HVSR consente di estrapolare informazioni relative al percorso del segnale dalla sorgente al sito. Nel tragitto, le onde elastiche (sia di terremoto sia di microtremore) subiscono riflessioni, rifrazioni, intrappolamenti, attenuazioni che dipendono dalla natura del sottosuolo attraversato. Il rumore sismico ambientale (o microtremore) viene acquisito attraverso queste tecniche che consentono, appunto, di stabilire le frequenze principali dei sottosuoli. Un protocollo generale per la definizione della funzione HVSR comprende, per le tre componenti, la suddivisione del segnale registrato in intervalli della durata di alcune decine di secondi, il calcolo dello spettro per ognuno di questi e, dopo una opportuna selezione degli spettri ottenuti, la determinazione dei rapporti spettrali per le singole finestre, nonché il calcolo del rapporto spettrale medio. I risultati che si possono ottenere da una registrazione di questo tipo sono:

- la frequenza caratteristica di risonanza del sito, che rappresenta un parametro fondamentale per il corretto dimensionamento degli edifici in termini di risposta sismica locale. Si dovranno adottare adeguate precauzioni nell'edificazione di manufatti aventi la stessa frequenza di vibrazione del terreno per evitare l'effetto di "doppia risonanza", estremamente pericoloso per la stabilità degli stessi in caso di sisma;
- la frequenza fondamentale di risonanza di un edificio, qualora la misura venga effettuata all'interno dello stesso. In quanto risulterà possibile confrontarla con quella caratteristica del sito e capire se in caso di sisma la struttura potrà essere o meno a rischio;
- la velocità media delle onde di taglio  $V_s$ , calcolata tramite un apposito codice di calcolo. E' necessario in questo caso, per l'affidabilità del risultato, conoscere la profondità di un riflettore noto dalla stratigrafia e riconoscibile nella curva H/V. Dai dati è possibile calcolare la  $V_{s,30}$  e definire la relativa categoria del suolo di fondazione, come esplicitamente richiesto dal D.M. 14/01/08 a partire dal piano fondale;
- la sismo – stratigrafia del sottosuolo, con un range di indagine compreso tra 0 e 100 m circa di profondità. Il principio su cui si basa la presente tecnica, in termini di stratigrafia del sottosuolo, è rappresentato dalla definizione di strato inteso come unità distinta da quelle sopra e sottostanti per un contrasto d'impedenza, ossia per il rapporto tra i prodotti di velocità delle onde sismiche nel mezzo e densità del mezzo stesso.

## **7.1 Ubicazione prove**

Le indagini sono state eseguite il giorno 2 maggio 2013 nei punti individuati dalle seguenti coordinate ED 50:

### **Prova HVSR1**

Coordinate E	Coordinate N
12.44035	43.03035

### **Prova HVSR2**

Coordinate E	Coordinate N
12.43989	43.03005

## **7.2 Strumentazione impiegata e metodologia di acquisizione**

Le misure di microtremore ambientale sono state eseguite per mezzo di un digitalizzatore portatile progettato specificamente per l'acquisizione del rumore sismico naturale. Il sismografo utilizzato per la registrazione dei dati è un digitalizzatore 3 canali a 24 bit (SR04 – Geobox) con sensore da 4,5 Hz di frequenza propria nominale (SS – 45) prodotto dalla ditta Sara Electronic Instruments S.r.l. Il software utilizzato per la restituzione del segnale è Seismowin. Il software utilizzato per l'elaborazione dei dati è Geopsy. Le misure del rumore ambientale sono analizzate utilizzando i rapporti spettrali del segnale tra la componente orizzontale (H) e la componente verticale (V). I rapporti spettrali medi H/V sono stimati attraverso un insieme di finestre "correnti" del segnale. Prima di applicare tali rapporti, eventuali disturbi del segnale sono stati rimossi manualmente, per ottenere un insieme di finestre di registrazioni di rumore. Per determinare la velocità delle onde di taglio  $V_s$  si utilizza un codice di calcolo appositamente creato per interpretare i rapporti spettrali HVSR, basati sulla simulazione del campo di onde di superficie (Rayleigh e Love) in sistemi multistrato a strati piani e paralleli. In fase operativa sono state eseguite le seguenti operazioni:

- 1) il rumore sismico è stato registrato nelle sue tre componenti per un intervallo di tempo della durata di 15 min (900 secondi) per entrambe le prove;
- 2) la registrazione è stata suddivisa in intervalli della durata di 30 secondi per la prova HVSR1 e variabile da 30 a 40 secondi per la prova HVSR2;
- 3) per ogni segmento utile è stata eseguita un'analisi spettrale nelle sue tre componenti;

4) per ciascun segmento utile sono stati calcolati i rapporti spettrali fra le componenti del moto sui piani orizzontale e verticale;

5) su tutti i segmenti sono stati calcolati i rapporti spettrali medi.

Dalla registrazione del rumore sismico ambientale in campo libero è stata ricavata la curva H/V. La curva H/V è stata riprodotta creando una serie di modelli sintetici fino a considerare idoneo il modello teorico maggiormente congruo alle curve sperimentali. Tale operazione è possibile esclusivamente in presenza di un vincolo che può essere la profondità, nota tramite prove dirette, di un riflettore sismico il cui marker sia riconoscibile nelle curve H/V o la velocità delle onde di taglio (Vs) del primo strato nota da altre indagini. Operativamente è stato ricostruito un modello teorico HVSR avente tante discontinuità sismiche quante sono le discontinuità evidenziate dalla registrazione eseguita. Successivamente, tramite uno specifico algoritmo, è stata adattata la curva teorica alla curva sperimentale, ottenendo gli spessori dei sismostrati con la relativa velocità delle onde Vs.

### 7.3 Risultati

Il moto sismico è amplificato in corrispondenza di determinate frequenze che corrispondono alle frequenze naturali di vibrazione del deposito (Fn). La prospezione sismica eseguita ha consentito di valutare la frequenza amplificata dal sito (frequenza fondamentale di risonanza), dato che il progettista strutturale potrà utilizzare al fine di evitare fenomeni di doppia risonanza con la frequenza fondamentale della struttura in caso di sisma.

#### Prova HVSR1

Il modello ricostruito ha investigato una banda di frequenza da 1 Hz a 20 Hz. Sono state selezionate 17 finestre utili. E' stato individuato un picco prossimo a  $f_0 = 1.62 \pm 0.20$  Hz, con ampiezza  $A_0 = 3.19$ . Altri picchi minori sono interpretabili come variazioni di velocità, non significative sotto il profilo sismico, imputabili a stratificazioni all'interno del complesso di copertura. E' stata ricostruita la seguente sismo – stratigrafia. In allegato sono riportati i risultati dell'indagine eseguita.

SISMO – STRATIGRAFIA DEL SITO			
Prof. dal p.c. (m) da:	Prof. dal p.c. (m) a:	Spessore Hi (m)	Velocità Vi (m/s)
0.0	1.3	1.3	77
1.3	6.3	5.0	189
6.3	29.6	23.3	371
29.6	96.3	66.7	592
96.3	---	---	1043

In Figura 1 è riprodotta la registrazione del segnale in sito nelle tre componenti con evidenziate le finestre selezionate.

In Figura 2 è riportato il movimento sul piano orizzontale.

In Figura 3 sono confrontati gli spettri dei singoli canali nel campo di frequenze investigato (0,5 – 100 Hz).

In Figura 4 sono riportati gli spettri dei singoli canali su tutto il campo di frequenze investigato (0,5 – 100 Hz).

In Figura 5 è riprodotta la curva H/V sperimentale.

In Figura 6 è riprodotto il confronto tra la curva H/V sperimentale registrata in sito (curva in nero, media) e la curva H/V teorica derivata dal modello di sottosuolo (curva in rosso). La coerenza tra le due curve segnala un misfit value pari a 0,24.

In Figura 7 è ricostruito il modello di sottosuolo attraverso il valore della velocità delle onde S (l'asse x riporta la velocità, l'asse y riporta la profondità) sulla base di una stratigrafia di massima definita da conoscenze acquisite in sito a corredo di precedenti interventi.

Nella tabella è riassunto il modello di sottosuolo in forma numerica tabellare, ricavato dai dati di figura 7. Sulla base di tali dati sono state definite le velocità equivalenti delle onde di taglio.

L'analisi dei risultati evidenzia, quindi, la seguente sismo – stratigrafia locale:

- dal p.c. a 1.3 m: *copertura poco rigida*  $\Rightarrow Vi = 77$  m/s;
- da 1.3 a 6.3 m: *copertura poco rigida*  $\Rightarrow Vi = 189$  m/s;
- da 6.3 a 29.6 m: *copertura rigida*  $\Rightarrow Vi = 371$  m/s;
- da 29.6 a 96.3 m: *copertura molto rigida*  $\Rightarrow Vi = 592$  m/s;
- da 96.3 m: *bedrock sismico*  $\Rightarrow Vi = 1043$  m/s.

#### Prova HVSR2

Il modello ricostruito ha investigato una banda di frequenza da 1 Hz a 20 Hz. Sono state selezionate 16 finestre utili. E' stato individuato un picco prossimo a  $f_0 = 1.66 \pm 0.25$  Hz, con ampiezza  $A_0 = 2.31$ . Altri picchi minori sono interpretabili come variazioni di velocità, non significative sotto il profilo sismico, imputabili a stratificazioni all'interno del complesso di copertura. E' stata ricostruita la seguente sismo – stratigrafia. In allegato sono riportati i risultati dell'indagine eseguita.

SISMO – STRATIGRAFIA DEL SITO			
Prof. dal p.c. (m) da:	Prof. dal p.c. (m) a:	Spessore Hi (m)	Velocità Vi (m/s)
0.0	1.2	1.2	75
1.2	6.2	5.0	194

6.2	29.4	23.2	365
29.4	96.7	67.3	598
96.7	---	---	1041

In Figura 1 è riprodotta la registrazione del segnale in sito nelle tre componenti con evidenziate le finestre selezionate.

In Figura 2 è riportato il movimento sul piano orizzontale.

In Figura 3 sono confrontati gli spettri dei singoli canali nel campo di frequenze investigato (0,5 – 100 Hz).

In Figura 4 sono riportati gli spettri dei singoli canali su tutto il campo di frequenze investigato (0,5 – 100 Hz).

In Figura 5 è riprodotta la curva H/V sperimentale.

In Figura 6 è riprodotto il confronto tra la curva H/V sperimentale registrata in sito (curva in nero, media) e la curva H/V teorica derivata dal modello di sottosuolo (curva in rosso). La coerenza tra le due curve segnala un misfit value pari a 0,12.

In Figura 7 è ricostruito il modello di sottosuolo attraverso il valore della velocità delle onde S (l'asse x riporta la velocità, l'asse y riporta la profondità) sulla base di una stratigrafia di massima definita da conoscenze acquisite in sito a corredo di precedenti interventi.

Nella tabella è riassunto il modello di sottosuolo in forma numerica tabellare, ricavato dai dati di figura 7.

L'analisi dei risultati evidenzia, quindi, la seguente sismo – stratigrafia locale:

- dal p.c. a 1.2 m: *copertura poco rigida*  $\Rightarrow V_i = 75$  m/s;
- da 1.2 a 6.2 m: *copertura poco rigida*  $\Rightarrow V_i = 194$  m/s;
- da 6.2 a 29.4 m: *copertura rigida*  $\Rightarrow V_i = 365$  m/s;
- da 29.4 a 96.7 m: *copertura molto rigida*  $\Rightarrow V_i = 598$  m/s;
- da 96.7 m: *bedrock sismico*  $\Rightarrow V_i = 1041$  m/s.

Tali determinazioni sono ulteriormente validate dai dati derivanti da indagini sismiche effettuate a corredo dei più recenti studi condotti dalla Regione Umbria (Direzione Ambiente, Territorio e Infrastrutture – Servizio Geologico e Sismico) per la redazione delle carte di pericolosità sismica, che forniscono per alcune delle formazioni individuate i seguenti parametri geotecnici e geofisici.

Unità geofisica	Sigla	Vs (m/s)	Vp (m/s)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )
<i>Limosa alluvionale</i>	LA	270	780	19.4
<i>Ghiaiosa alluvionale</i>	GA	300	1020	19.7

### 8.0 Caratteristiche sismiche del sito e parametri sismici di progetto

Le azioni sismiche di progetto si definiscono a partire dalla pericolosità di base del sito di costruzione. La pericolosità sismica è definita convenzionalmente in termini di accelerazione massima attesa ( $a_g$ ) in condizioni di campo libero (cioè in assenza di manufatti) su sito di riferimento rigido (Categoria A) con superficie topografica orizzontale (categoria T1), nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente  $S_e(T)$ , con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza ( $P_{VR}$ ), nel periodo di riferimento ( $V_R$ ) (par. 3.2 DM 14/01/2008).

#### ● PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE (MACROZONAZIONE SISMICA)

*riferita a suolo rigido Tipo A e superficie topografica orizzontale*

La pericolosità sismica di base è rappresentata da:

- $a_g$ , accelerazione orizzontale di picco attesa;
- $F_0$ , valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro di risposta in accelerazione orizzontale;
- $T_c^*$ , periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro di risposta in accelerazione orizzontale.

Territorio comunale di Torgiano (PG)

Zona sismica 2 (O.P.C.M. n° 3274/2003 – D.G.R. n° 852/2003).  $P_{ga} = (A_g/g) =$  accelerazione orizzontale di picco del terreno con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni:  $0.15 < P_{ga} < 0.25$  – Norme Tecniche  $P_{ga} = 0.25$ .

Attraverso il programma Excel “*Spettri N.T.C. – versione 1.0.3*”, messo a disposizione dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, è stato possibile definire i parametri per lo specifico sito interpolando mediante media ponderata i valori dei punti di un reticolo di riferimento (studio di pericolosità sismica di base condotto dall'I.N.G.V.) i cui nodi non distano tra loro più di 10 km per periodi di ritorno ricadenti in un intervallo di riferimento compreso tra 30 e 2475 anni. Coordinate medie del sito in esame (ED50):

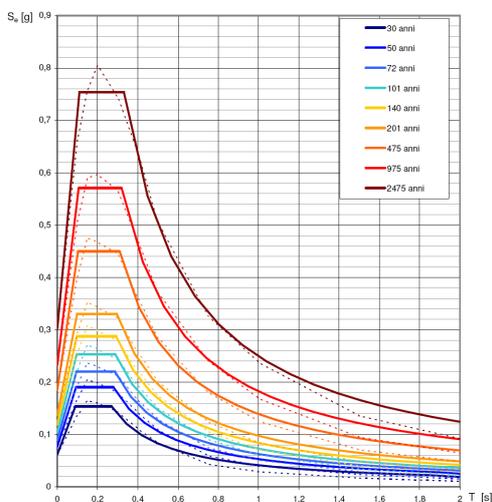
Coordinate E	Coordinate N
12.44008	43.03024

L'azione sismica è valutata in relazione ad un periodo di riferimento dell'opera ( $V_R = V_N \cdot C_U$ ) e allo stato limite (SL) da verificare, cui è associata una prefissata probabilità di superamento ( $P_{VR}$ ).  $V_R$  definisce il periodo di osservazione durante il quale ad ogni stato limite viene definito un terremoto di intensità prefissata specificata da una probabilità di superamento, durante tale periodo, dell'azione da considerare.  $V_N =$  vita nominale = “numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve poter essere usata per lo scopo al quale è destinata”.  $C_U =$  coefficiente d'uso, definito in base alla classe d'uso. “In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso”, a ciascuna delle quali è associato un valore del coefficiente d'uso.

**Tabella 3.2.1 – Probabilità di superamento  $P_v$  al variare dello stato limite considerato**

Stati Limite		$P_v$ - Probabilità di superamento nel periodo di riferimento $V_R$
Stati limite di esercizio	SLO	81%
	SLD	63%
Stati limite ultimi	SLV	10%
	SLC	5%

**Spettri di risposta elastici per i periodi di ritorno  $T_R$  di riferimento**



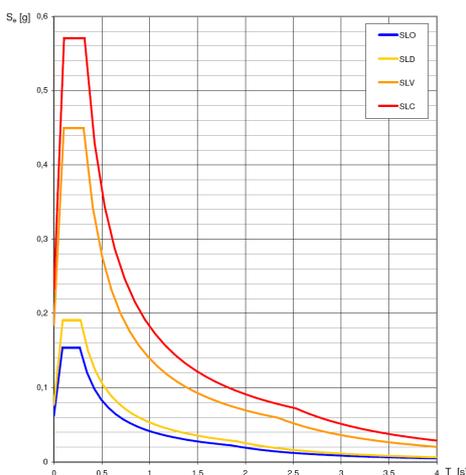
NOTA:  
Con linee continue si rappresentano gli spettri di Normativa, con linee tratteggiate gli spettri del progetto S1-INGV da cui sono derivati.

**Valori dei parametri  $a_g$ ,  $F_o$ ,  $T_C^*$  per i periodi di ritorno  $T_R$  di riferimento**

$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_o$ [-]	$T_C^*$ [s]
30	0,062	2,483	0,270
50	0,077	2,475	0,279
72	0,090	2,450	0,286
101	0,104	2,430	0,288
140	0,119	2,420	0,292
201	0,137	2,412	0,295
475	0,185	2,429	0,310
975	0,232	2,457	0,320
2475	0,302	2,495	0,331

In ipotesi, considerando che ai sensi delle N.T.C. 2008 all'opera in esame possa essere attribuita *vita nominale  $V_n$  superiore a 50 anni* (Tab. 2.4.I) e che l'intervento possa essere inserito in *classe d'uso II*, alla quale corrisponde un *coefficiente d'uso  $C_u = 1$*  (Tab. 2.4.II), il periodo di riferimento ( $V_R = V_N \cdot C_u$ ) per l'azione sismica da considerare è  $V_R \geq 50$ . Sulla base di tali considerazioni si fornisce il grafico degli spettri di risposta per i diversi stati limite e la tabella dei parametri per i tempi di ritorno associati.

**Spettri di risposta elastici per i diversi Stati Limite**



**Valori dei parametri  $a_g$ ,  $F_o$ ,  $T_C^*$  per i periodi di ritorno  $T_R$  associati a ciascuno SL**

SLATO LIMITE	$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_o$ [-]	$T_C^*$ [s]
SLO	30	0,062	2,483	0,270
SLD	50	0,077	2,474	0,279
SLV	475	0,185	2,429	0,310
SLC	975	0,232	2,457	0,320

## 9.0 Risposta sismica locale – Effetti di sito (microzonazione sismica)

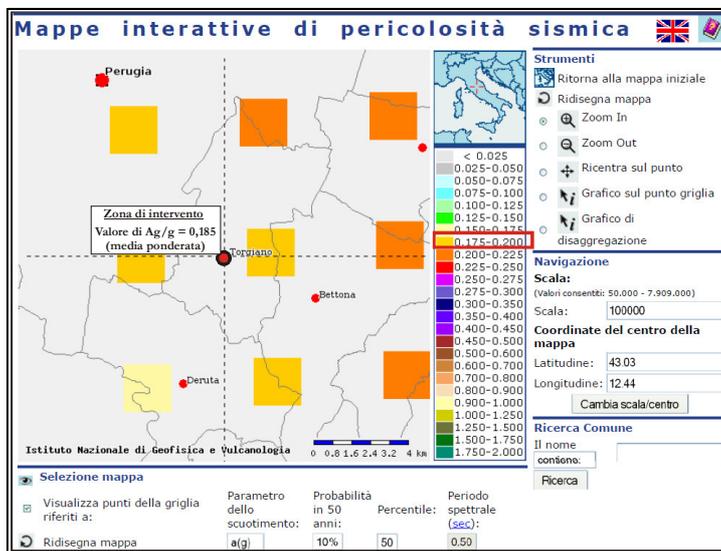
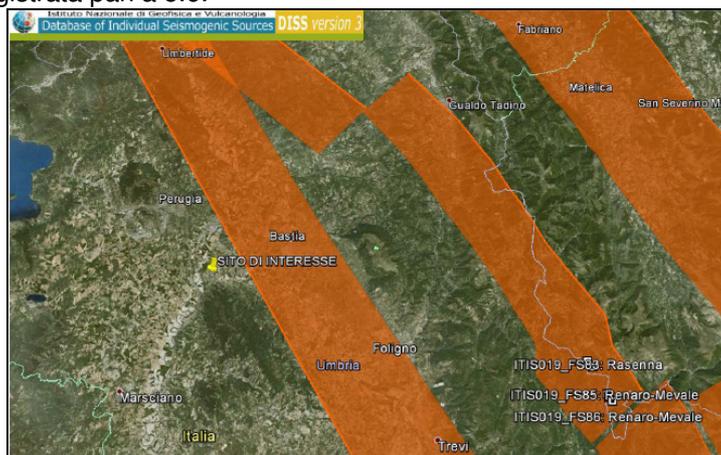
Sulla base dei criteri dettati dalla D.G.R. n° 377 del 8 marzo 2010 “*Criteri per l'esecuzione degli studi di microzonazione sismica*”, e delle Linee guida del Dipartimento della Protezione Civile Nazionale da questa recepite “*Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica*”, è di seguito definita la suscettibilità sismica del sito di studio attraverso due livelli di approfondimento stabiliti sulla base delle caratteristiche dell'area e dell'importanza dell'intervento.

### 9.1 Livello 1 di approfondimento

Si analizzano i seguenti aspetti.

#### Vicinanza di faglie sismogenetiche attive

L'analisi dei dati a disposizione (database Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia – *Database of Seismogenic Sources*) ed in particolare il catalogo delle sorgenti sismogenetiche italiane evidenzia che l'area di interesse non ricade tra le aree segnalate. La consultazione del database messo a disposizione dall'I.N.G.V. evidenzia che la faglia sismogenetica attiva più vicina si individua nella zona di Sellano (code ITISO19\_FS83/87 Rasenna) posta ad una distanza di circa 42 km e contraddistinta da terremoti di magnitudo massima registrata pari a 5.6.



Valori medi		
Magnitudo	Distanza	Epsilon
5.130	8.110	1.130

La stima della massima magnitudo attesa per la zona di interesse è stata definita attraverso la mappa interattiva di pericolosità sismica elaborata dall'I.N.G.V. Tale mappa, attraverso la disaggregazione della pericolosità sismica, consente di valutare i contributi che diverse sorgenti sismogenetiche, poste a distanza R e capaci di generare terremoti di magnitudo M, determinano sulla pericolosità di un sito. L'analisi è stata condotta facendo riferimento ai nodi di una griglia che ha suddiviso tutto il territorio, per ognuno dei quali sono a disposizione i valori disaggregati del valore di  $a_0$  con probabilità di eccedenza del 10% nell'arco di 50 anni. Attraverso l'inserimento delle coordinate del sito è possibile evidenziare la mappa di pericolosità nell'ambito indagato ed i relativi nodi di riferimento. Si fornisce il valore di PGA specifico per il sito, calcolato come media ponderata tra i 4 nodi; si fornisce inoltre il terremoto che domina lo scenario di pericolosità, inteso come l'evento di magnitudo M a distanza R che contribuisce maggiormente alla pericolosità sismica

del sito stesso (si utilizza il nodo contraddistinto dai maggiori valori di pericolosità).

### **Amplificazione litostratigrafica**

In considerazione della fase progettuale si è ritenuto più significativo eseguire indagini di sismica passiva, più idonee per la ricostruzione della sismo – stratigrafia locale sino al bedrock sismico  $V_s > 800$  m/s. L'indagine consente anche il calcolo della  $V_{s,30}$  che si fornisce seppur solo a scopo indicativo considerando i primi 30 m a partire dal piano campagna. L'analisi dei risultati evidenzia le seguenti sismo – stratigrafie locali (i valori indicati si riferiscono al singolo modello selezionato; di fatto tali valori oscillano in un range cautelativo).

#### **PROVA H1**

→  $V_{s,30} = 280$  m/s → **categoria di sottosuolo: C**

→  $V_{sH} = 440$  m/s

#### **PROVA H2**

→  $V_{s,30} = 283$  m/s → **categoria di sottosuolo: C**

→  $V_{sH} = 444$  m/s

Sulla base dei risultati elaborati emerge che tutte le indagini registrano una  $V_{s,30}$  compresa tra 180 m/s e 360 m/s; di conseguenza tutto il comparto risulta caratterizzato da una categoria di sottosuolo di tipo C.

### **Verifica suscettività liquefazione terreni ai sensi del punto 7.11.3.4. delle NTC 2008**

Il sito in esame deve essere stabile nei confronti della liquefazione, ovvero di quei fenomeni associati alla perdita di resistenza al taglio o ad accumulo di deformazioni plastiche in terreni saturi, prevalentemente sabbiosi, sollecitati da azioni cicliche e dinamiche che agiscono in condizioni non drenate. Ai sensi delle N.T.C. 2008, con piano campagna suborizzontale e strutture con fondazioni superficiali, la verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle circostanze elencate al par. 7.11.3.4.2. Nello specifico, per il sito di riferimento la profondità media stagionale della falda è inferiore a 15 m dal piano campagna. Ai fini di una trattazione esaustiva e di una corretta verifica alla liquefazione, sono stati applicati i metodi di *Tokimatsu e Yoshimi* (1983) e *Andrus e Stokoe* (1997). Entrambe le verifiche, effettuate adottando i parametri geotecnici, idrogeologici e sismici maggiormente cautelativi, hanno fornito valori accettabili del coefficiente  $F_S$  (come risulta dagli elaborati allegati). Di conseguenza, è possibile affermare che per il sito in esame il rischio di liquefazione è molto basso.

### **SINTESI DEI RISULTATI – Microzone in prospettiva sismica**

Gli effetti di sito sono essenzialmente determinati da potenziali fenomeni di amplificazione sismica determinati da condizioni litostratigrafiche e/o geomorfologiche particolari. Sulla base di quanto descritto, confermato dalle carte di pericolosità sismica redatte dalla Regione Umbria, si ritiene che la suscettibilità sismica del sito sia determinata esclusivamente dalla stratigrafia. Non si evidenziano ulteriori condizioni rilevanti ai fini dell'amplificazione del moto sismico. E' da considerare che nella Carta delle zone suscettibili di amplificazioni sismiche o instabilità dinamiche locali, redatta dalla Regione Umbria (Direzione Ambiente, Territorio e Infrastrutture – Servizio Geologico e Sismico) e nella Tavola E2 – *Carta delle zone suscettibili di amplificazioni o instabilità dinamiche locali* del P.R.G. del Comune di Torgiano (PG), per le caratteristiche geologiche – geomorfologiche sopra evidenziate, l'area è inserita nella tipologia E7 – “Zona di fondovalle”.

### **Amplificazione topografica**

In riferimento all'amplificazione topografica, non si evidenziano peculiarità morfologiche che possano comportare particolare amplificazione degli effetti sismici.

#### **Categoria topografica: T1.**

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

#### **Coefficiente di amplificazione topografica $S_T = 1$ .**

La zona di studio è classificata come: **Zona di fondovalle con depositi alluvionali; Zona stabile suscettibile di amplificazioni locali.**

## **9.2 Livello 2 di approfondimento**

Nel secondo livello di approfondimento si procede alla quantificazione numerica degli effetti sismici evidenziati nell'analisi di 1° livello. Per la valutazione quantitativa di tali effetti sul segnale sismico si fa riferimento agli abachi per amplificazioni litostratigrafiche contenuti negli “*Indirizzi e criteri generali per la microzonazione sismica*”. Le amplificazioni sono espresse attraverso 2 fattori di amplificazione degli spettri elastici in superficie, associati alle singole situazioni litostratigrafiche. Tali fattori (FA e FV) sono da applicare rispettivamente alle ordinate spettrali a basso periodo (FA) e ad alto periodo (FV). Con tali fattori sarà possibile ricostruire lo spettro elastico in superficie. I dati raccolti e le indagini eseguite hanno consentito di stabilire che nell'area di studio lo spessore dei depositi di copertura del bedrock sismico ( $V_s > 800$  m/s) è di circa 90 – 100 m. La sismo – stratigrafia precedentemente descritta evidenzia una velocità delle onde S crescente con la profondità. Sulla base delle indicazioni fornite dalle Linee guida è necessario associare all'area un adeguato modello del profilo delle velocità. In considerazione della classificazione sismica del sito, dell'assetto sismo – stratigrafico ricostruito e della profondità del bedrock, si ritiene più idoneo e cautelativo fare riferimento a profili di velocità variabile linearmente con pendenza massima. Pertanto, sulla base dei parametri di seguito riassunti si potrà utilizzare l'abaco di riferimento e risalire ai valori di FA ed FV per l'area in analisi. In considerazione della similitudine dei risultati delle due indagini di sismica passiva eseguite, i



# CARTA DI SINTESI DI MICROZONAZIONE SISMICA

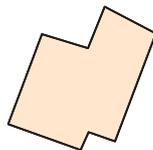
Scala 1:2.000



## LEGENDA

**Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali**

	Fa = 1,1-1,2
	Fa = 1,3-1,4
	Fa = 1,5-1,6
	Fa = 1,7-1,8
	Fa = 1,9-2,0
	Fa = 2,1-2,2
	Fa = 2,3-2,4
	Fa = >2,5



**Zona di fondovalle con depositi alluvionali**

**Zona a comportamento omogeneo**

**Zona stabile suscettibile di amplificazioni locali**

**FATTORE DI AMPLIFICAZIONE: FA = 1,55**

### **10.0 Programma preliminare di indagini per la fase esecutiva**

Durante la progettazione esecutiva degli interventi dovrà essere effettuata una ulteriore campagna di indagini puntuali nei vari lotti. Le indagini dovranno essere programmate e finalizzate ad accertare puntualmente i parametri geotecnici dei terreni di sedime delle strutture, alla luce delle tipologie architettoniche e strutturali proposte.

Dovranno essere eseguite indagini sismiche atte a determinare il corretto valore della  $V_{s,30}$  in funzione della

quota di imposta del piano fondale delle strutture, secondo quanto disposto al punto 3.2.2 delle N.T.C. 2008 e dalla Circolare n° 617 del 2/2/2009 (“Istruzioni per l'applicazione delle “Nuove norme tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 14 gennaio 2008”).

#### **11.0 Considerazioni conclusive**

L'indagine effettuata ha permesso di ricostruire la successione stratigrafica e di parametrizzare dal punto di vista geotecnico i terreni di sedime. I dati acquisiti consentono di esprimere alcune indicazioni di ordine geologico in merito agli interventi in progetto.

Nella Tavola 2 – *Carta del rischio geologico e dell'edificabilità* del P.R.G. del Comune di Torgiano (PG), l'area è inserita nella classe B (rischio basso), con *edificabilità possibile*.

Le operazioni di scavo per la lottizzazione dei terreni non comportano problematiche particolari; dovranno comunque essere condotte con le dovute cautele, verificando per tratti la risposta dei materiali. Nel caso, sarà opportuno predisporre opere di contenimento delle pareti temporanee di scavo, in modo da garantire la sicurezza degli operatori.

I terreni provenienti dagli scavi verranno integralmente riutilizzati nell'area e dovranno essere adeguatamente sistemati secondo le previsioni di progetto.

Qualora durante la fase di scavo vengano intercettate percolazioni idriche, tali acque dovranno essere correttamente allontanate.

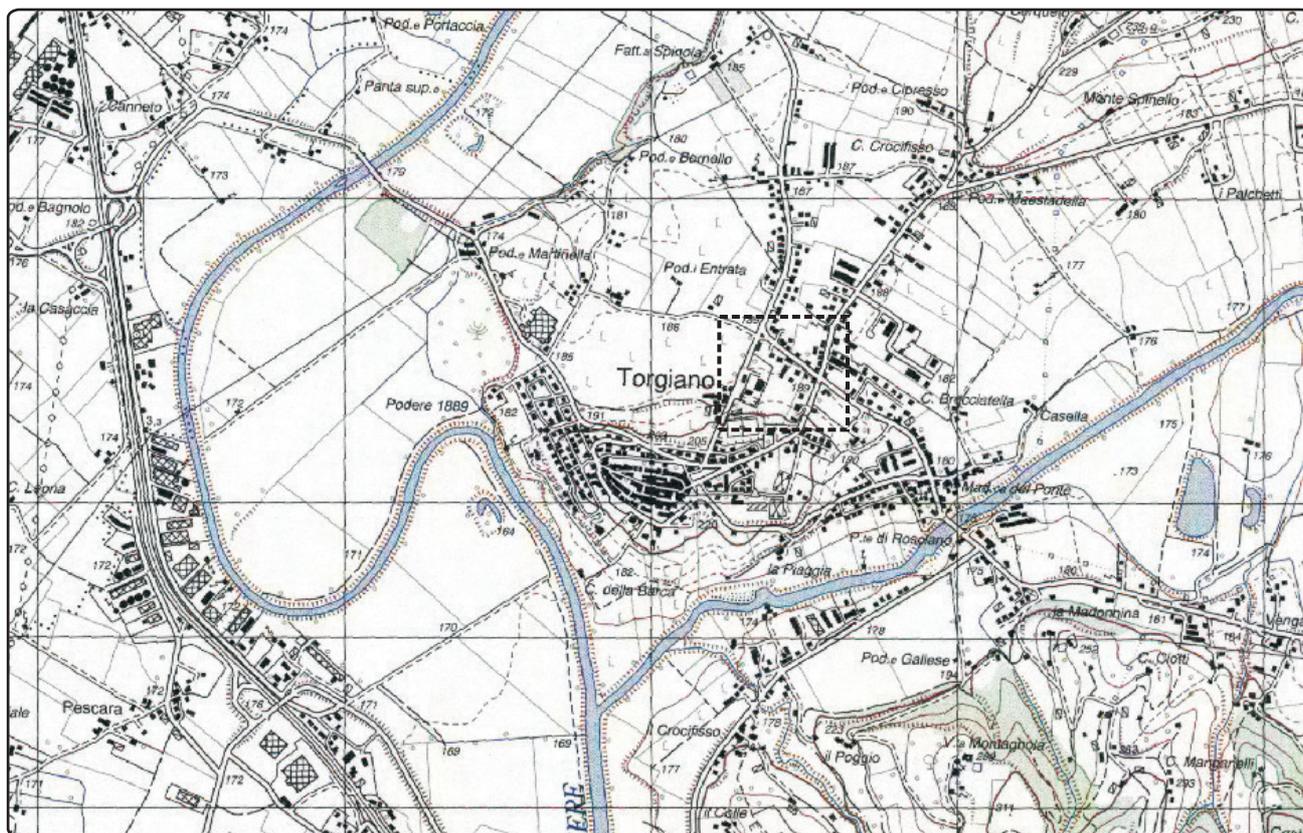
Lo studio rimane comunque a disposizione per eventuali approfondimenti o per ulteriori accertamenti che dovessero rendersi necessari durante l'esecuzione dei lavori.

Perugia, 8 maggio 2013

*Dott. Gianfranco Corbucci*

---

# STRALCIO COROGRAFIA I.G.M.



Foglio n° 122 - Perugia  
Tavoletta *Torgiano - II SE*

 Inquadramento cartografico dell'area di interesse