



- Studio : Piazza Campriani 43
- 55100 LUCCA
- Tel/fax 0583.587213
- Cell. 3293909652
- e-mail agocei@yahoo.it

Agostino Cei – Geologo

Indagini geologiche di supporto alla redazione di un  
piano attuativo di iniziativa privata a fini residenziali di  
un'area situata in Marlia via dei Biccelli  
Comune di Capannori

• • • • • • • •

## **RELAZIONE ILLUSTRATIVA E di FATTIBILITÀ**

*Committente: Consorzio Urbanistico Ambito di Perequazione n.2*

*Lucca : Aprile 2017*

*Il tecnico : Agostino Cei Geologo*

# SOMMARIO

1. Premessa	3
2. Caratteristiche del Piano Attuativo	4
3. Inquadramento Geologico e Idrogeologico	5
3.1 Geologia	5
3.2 Idrogeologia	6
4. Cartografie e Norme del R. U.	7
Definizione delle classi di pericolosità secondo il R.U.	7
4.1 G1 : Pericolosità geomorfologica bassa	7
4.2 I2 : Pericolosità Idraulica Media	7
4.3 S2 : Pericolosità Sismica locale Media	7
Definizione delle classi di fattibilità	8
4.4 Fattibilità Geomorfologica F 2	8
4.5 Fattibilità Idraulica F II	9
4.6 Fattibilità Sismica S II	9
5. Ammissibilità secondo Autorità Appennino Settentrionale	10
5.1 – Quadro di pericolosità secondo il PGRA Arno	10
5.2 – Quadro di pericolosità secondo il PGRA Serchio	11
6. Indagine Geognostica	12
7. Indagine Sismica	14
7.1 Indagine Masw	14
7.2 Definizione della Categoria del suolo di Fondazione	15
7.3 Indagine sismica a	15
7.4 Aspetti Sismici	17
8. Liquefazione del terreno	19
9. Conclusioni	20

## TAVOLE

Corografia
Ubicazione Indagini
Cartografia R.U.
Foto Aerea
Carta geologica
Carta della pericolosità geomorfologica
Carta della pericolosità idraulica
Carta della pericolosità sismica
Carta delle categorie di sottosuolo
Carta delle criticità Idrauliche
Carta delle aree allagabili TR 30 anni
Carta delle aree allagabili TR 200 anni
Cartografia della pericolosità da alluvione fluviale e costiera (PGRA)
Carta delle Norme di piano del PAI del f. Serchio

## ALLEGATI

Prove penetrometriche
Indagine Masw
Indagine Sismica

# 1. Premessa

Su incarico e per conto del Consorzio Urbanistico Ambito di Perequazione n. 2 sono state effettuate indagini geologico-tecniche di supporto alla redazione di un Piano Attuativo relativo ad un'area posta in loc. Marlia nel Comune di Capannori al fine di definire le condizioni che garantiscono la fattibilità degli interventi previsti nel rispetto delle normative vigenti in materia ed in particolare:

- L.R. 10 novembre 2014, n. 65 (Norme per il governo del territorio).
- D.P.G.R. n. 53/R del 25 ottobre 2011 - Regolamento di attuazione dell'articolo 62 della legge regionale 3 gennaio 2005, n. 1 (Norme per il governo del territorio) in materia di indagini geologiche.
- Regolamento Urbanistico Comunale vigente

Le indagini geologiche avranno lo scopo di definire le condizioni di fattibilità degli interventi di trasformazione e sono effettuate in conformità a quanto prescritto dalle direttive tecniche contenute nell'allegato A del Regolamento di attuazione dell'articolo 62 della legge regionale 3 gennaio 2005, n.1 in materia di indagini geologiche.

La riclassificazione sismica del territorio nazionale intervenuta a seguito dell'emanazione della O.P.C.M. n° 3274 del 20.3.2003 definisce il territorio del Comune di Capannori sismico di Zona 3 .

Tale classificazione è stata riconfermata dalla O.P.C.M. n° 3519 del 28 Aprile 2006, in base alla quale la Regione Toscana (Deliberazione di Giunta Regionale n. 431 del 19 giugno 2006) in attuazione del D.M. 14.09.2005 e Ord. P.c.m. 3519 del 28.04.2006 pubblicata sulla G.U. dell'11.05.2006.

Con Decreto del 14 Gennaio 2008, pubblicato sulla G.U. n. 29 del 4.02.2008 suppl. ord. n° 30, sono state inoltre approvate le nuove Norme tecniche per le costruzioni, entrate in vigore lo scorso 23 Marzo 2008. Da tale data, la stima della pericolosità sismica, intesa come accelerazione massima orizzontale su suolo rigido, viene definita mediante un approccio "sito dipendente" e non più "zona dipendente": in altre parole, definite le coordinate del sito interessato dal progetto, questo sarà sempre compreso tra



quattro punti della griglia di accelerazioni e, tramite media pesata, ad esso competerà un valore specifico di accelerazione di ancoraggio dello spettro elastico

In relazione a quanto sopra e nel rispetto del D.P.G.R. del 25 ottobre 2011 n. 53/R "Regolamento di attuazione dell'art. 62 della legge regionale 3 gennaio 2005, n.1 (Norme per il governo del territorio) in materia di indagini geologiche", gli approfondimenti qui svolti sono quelli dettati dal R.U. vigente.

Nella relazione che segue vengono riassunte le indagini svolte ed illustrati gli elaborati grafici, concludendo con il giudizio sulla fattibilità dell'intervento in oggetto e con l'indicazione degli ulteriori approfondimenti da svolgere a supporto dell'intervento diretto.

## 2. Caratteristiche del Piano Attuativo

Il presente Piano Attuativo occupa un'area situata in Marlia, all'interno di un'area intensamente antropizzata, con un'estensione complessiva di mq. 37547,94, delimitata a Nord da via della Chiesa a sud da via dei Biccelli e ad ovest e ad est da aree agricole.

Il progetto di piano si configura come una ricomposizione fondiaria di diversi lotti di terreno con diversi proprietari su cui si prevedono diverse tipologie di intervento.

In dettaglio, oltre alla realizzazione di diverse unità abitative a schiera e in linea, per una volumetria complessiva di m<sup>3</sup> 12.480, il piano prevede, sia la realizzazione di un parcheggio pubblico per circa 2200 mq e di aree per verde attrezzato per circa 8700 mq.

Dal punto di vista edificatorio il piano prevede la possibilità di realizzare fabbricati di altezza massima di 10m.

All'interno dei lotti edificabili saranno ricavati un totale di 30 alloggi a fronte dei 32 ammessi dalle norme del Regolamento Urbanistico vigente.



## 3. Inquadramento Geologico e Idrogeologico

### 3.1 GEOLOGIA

L'area in progetto è situata in Marlia, nel Comune di Capannori, nella parte centrale della pianura lucchese.

La geologia dell'area è caratterizzata dalla presenza di depositi di origine alluvionale originati dal fiume Serchio e dei suoi paleo alvei, costituiti da limi sabbioso-limosi poggianti su un deposito costituito da ghiaie in una matrice sabbiosa.

Secondo gli studi esistenti la pianura Lucchese si sviluppa all'interno di un'ampia depressione tettonica formatasi a partire dal Miocene Superiore ed occupata, almeno in parte, da un vasto lago i cui depositi affiorano in corrispondenza dei rilievi collinari posti ai margini settentrionali e orientali della pianura stessa.

In tempi successivi, a seguito delle vicende climatiche würmiane l'attuale pianura lucchese fu percorsa ed alluvionata dal F. Serchio il cui paleoalveo, oggi coperto dai più recenti depositi, riversava le sue acque nel F. Arno attraversando l'attuale "padule di Bientina".

In una fase successiva, a seguito dell'innalzamento dell'alveo dell'Arno si verificarono colmamenti e impaludamenti che portarono al colmamento della pianura lucchese. Dal ramo principale si distaccarono rami minori con direzione NE-SW che riuscirono a tracimare e quindi incidere la soglia di Ripafratta consentendo al fiume uno sbocco indipendente verso il mare.

Questi rami minori assunsero, col tempo importanza crescente finché, a partire dal VII fino a XVI secolo furono realizzati una serie di interventi idraulici, tutto il sistema venne regimato, giungendo alla situazione attuale che vede il f. Serchio che scorre in un alveo pensile e arginato sulla pianura lucchese e pisana fino alla foce di Migliarino.

I depositi alluvionali della piana di Lucca sono quasi ovunque caratterizzati

Da una successione stratigrafica che dall'alto verso il basso può essere così riepilogata:

- depositi prevalentemente fini (limo-argilloso-sabbiosi)

- depositi prevalentemente grossolani (ghiaie, ciottoli e sabbie)

Nell'area in studio la copertura fine presenta uno spessore massimo di circa 3÷4 m, mentre il deposito ghiaioso-sabbioso sottostante si spinge ad una profondità di circa oltre i 30 m.

Tutta l'area si presenta pianeggiante e quindi priva di problematiche di tipo gravitativo.

### 3.2 IDROGEOLOGIA

I terreni superficiali presenti in zona sono caratterizzati da sedimenti prevalentemente fini (limi sabbiosi) caratterizzati da permeabilità medio-bassa, mentre i depositi di natura ghiaioso-sabbiosa presentano una permeabilità alta.

Le notizie ricavate dalle indagini dirette eseguite direttamente sui lotti in esame e in altri terreni posti in prossimità dell'area in oggetto consentono di definire la presenza di una falda libera con un livello piezometrico posto ad una profondità oscillante tra i 2 e 4 metri rispetto al piano di campagna.

Va peraltro ricordato che in periodi di massima ricarica si possono registrare risalite anche importanti del livello di falda fino a raggiungere profondità di circa 1 metro

L'acquifero di riferimento è costituito da un deposito di sabbie e ghiaie prodotto da uno dei paleoalvei del fiume Serchio, descritti nel precedente paragrafo, e caratterizzato da buoni valori dei coefficienti fondamentali. (porosità effettiva o immagazzinamento, trasmissività idraulica, conducibilità idraulica, ecc.).

Le misure eseguite durante le indagini geognostiche eseguite in questa fase hanno individuato una soggiacenza del livello di circa 4,3 metri dal piano di campagna.



## 4. Cartografie e Norme del R. U.

### **Definizione delle classi di pericolosità secondo il R.U.**

La definizione delle classi di pericolosità per l'area in oggetto viene definita sulla base degli studi eseguiti a supposto della Variante generale al Regolamento Urbanistico vigente approvato nell'Ottobre 2016. Alla presente relazione viene allegata una tavola in cui sono riportati gli estratti della cartografia allegata allo strumento urbanistico vigente elencati di seguito in cui si evidenziano le classi di pericolosità individuabili nell'area in oggetto e così riepilogabili:

#### 4.1 G1 : PERICOLOSITÀ GEOMORFOLOGICA BASSA

Secondo quanto ricavato dalla cartografia allegata allo S.U. Comunale l'area oggetto del presente studio risulta interamente ricadente all'interno della classe G1 : Pericolosità geomorfologica bassa. Ricadono in questa classe;

*“ Aree pianeggianti o sub-pianeggianti in cui gli elementi geomorfologici, litologici, giacitureali e litotecnici, non costituiscono fattori in grado di produrre fenomeni di dissesto.”*

#### 4.2 I2 : PERICOLOSITÀ IDRAULICA MEDIA

L'area in esame ricade all'interno della classe I2:

*Aree interessate da allagamenti per eventi con  $200 < T_r < L500$  anni.*

*Secondo quanto riportato nella cartografia allegata allo strumento urbanistico risulta che l'area oggetto di intervento non ricade all'interno degli ambiti fluviali o tra le aree di pertinenza fluviale. Non risulta inoltre interessata eventi esondivi e/o dei transiti per tempi di ritorno di 30 e 200 anni.*

#### 4.3 S2 : PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE MEDIA

*Zone stabili con substrato lapideo affiorante o sub-affiorante ma con pendenza superiore a 15°; zone stabili suscettibili di amplificazioni locali che non rientrano tra quelli previsti per la classe di pericolosità sismica S.3, ovvero non caratterizzati da forti contrasti di impedenza sismica (generalmente corrispondenti alle categorie di sottosuolo B o C), ad esempio depositi alluvionali*



della pianura, depositi detritici su roccia alterata o su depositi fluviolacustri.

### **Definizione delle classi di fattibilità**

Per la definizione di fattibilità dell'intervento in esame sono state utilizzati i tre abaci di correlazione presenti nelle N.T.A dello strumento urbanistico relativi alla fattibilità geomorfologica, idraulica e sismica. Questi mettono in relazione il grado di pericolosità con le tipologie previste, la sommatoria delle due variabili fornisce prescrizioni e/o indicazioni sulla fattibilità degli interventi previsti e gli eventuali approfondimenti di indagine necessari.

L'operazione ora descritta ha fornito le seguenti classi di fattibilità:

	Classe di Fattibilità
Fattibilità Geomorfologica	F II
Fattibilità Idraulica	F I
Fattibilità Sismica	F II

#### *4.4 FATTIBILITÀ GEOMORFOLOGICA F 2*

Sono prescritte indagini di approfondimento da condursi ai sensi della normativa tecnica vigente sia nel caso di intervento diretto, sia nel caso di Piano Complesso di intervento e di Piano Attuativo. In particolare le indagini di supporto alla progettazione edilizia dovranno essere estese all'intorno geologicamente significativo e pervenire alla definizione del modello geologico di riferimento, comprensivo della relativa caratterizzazione stratigrafico-geotecnica e idrogeologica, nelle aree di pianura o, dell'individuazione degli elementi, geomorfologici, litologico-tecnici, giacaturali e idrogeologici, nelle aree di versante, per le opportune verifiche di sicurezza, dei possibili fenomeni di ritiro e rigonfiamento dei terreni argillosi per variazioni di umidità del suolo, nonché nei casi di interventi su pendio (G2) a valutazioni di stabilità del pendio medesimo.

Nel caso di volumetrie interrato dovranno essere valutate le prevedibili sottospinte idrauliche e gli effetti di eventuali emungimenti connessi agli scavi sotto falda. E' inoltre prescritto, al fine di evitare ruscellamenti selvaggi e/o fenomeni erosivi concentrati, che le acque meteoriche afferenti alle superfici modificate vengano adeguatamente raccolte e regimate, tenuto



anche conto delle disposizioni di cui all'art. 51 delle presenti norme.

#### *4.5 FATTIBILITÀ IDRAULICA F II*

Al fine di accrescere le condizioni di sicurezza è prescritto che le quote dei piani di calpestio dei piani terra e le soglie di ingresso a piani interrati siano rialzati di almeno 15 cm rispetto alle aree esterne.

#### *4.6 FATTIBILITÀ SISMICA S II*

Sono prescritte, sia nel caso di intervento diretto, sia di Piano Complesso di Intervento, sia di Piano Attuativo, indagini geofisiche sismiche di approfondimento del quadro conoscitivo, condotte a norma del D.P.G.R. 36/R/2009 e secondo i criteri stabiliti dalle Istruzioni Tecniche del Progetto V.E.L. della Regione Toscana, che definiscano spessori, geometrie e velocità sismiche dei litotipi sepolti al fine di valutare l'entità del contrasto di rigidità sismica tra terreni di copertura (detrito, alluvioni) e bedrock sismico e/o all'interno delle stesse coperture, nonché alla definizione della "Categoria di sottosuolo" ex D.M. 14 Gennaio 2008 – Norme tecniche per le costruzioni (NTC2008) e successive eventuali modifiche ed integrazioni.

In tutti i casi in cui gli interventi comporti sbancamenti e/o riporti significativi sul pendio, sono prescritte verifiche di stabilità pre e post intervento in condizioni statiche ed in condizioni sismiche. Per la definizione della "Categoria di sottosuolo" si potrà fare riferimento alle TAVV. A7 per la Classe d'indagine 1 ex D.P.G.R. 36/R/2009 e per la Classe di indagine 2 (solo nel caso in cui sia rispettato il criterio della "immediata adiacenza" di una delle prospezioni sismiche allegate alla presente variante di RU rispetto al sito di intervento e qualora ne sia dimostrata la validità anche per il sito medesimo. In tutti gli altri casi dovranno essere utilizzate le metodologie descritte in Appendice 1. Nei territori di collina o montagna caratterizzati da formazioni litoidi affioranti o sub-affioranti, è comunque necessario il controllo e l'accertamento diretto delle velocità dei sismostrati e dello spessore della copertura detritica, il quale discrimina tra l'attribuzione alla categoria di suolo A, nel caso di spessore  $L \geq 3$  m secondo il DM 14 Gennaio 2008, ed una delle altre categorie (E o B).



## 5. Ammissibilità secondo Autorità Appennino Settentrionale

Il 17 febbraio 2017 entra in vigore il decreto del Ministro dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare n. 294 del 25 ottobre 2016 (pubblicato nella Gazzetta Ufficiale n. 27 del 2 febbraio 2017) in materia di Autorità di bacino distrettuali.

Tale decreto, ai sensi dell'art. 63 comma 3 del d.lgs. 152/2006, dà avvio alla riforma distrettuale ed è finalizzato a disciplinare le modalità e i criteri per il trasferimento del personale e delle risorse strumentali e finanziarie dalle vecchie Autorità di bacino alla nuova Autorità distrettuale.

Dal 17 febbraio 2017 risultano soppresse, per espressa disposizione di legge (rif. art. 51 comma 4 della legge n. 221/2015), tutte le Autorità di bacino di cui alla legge 183/1989 e quindi anche l'Autorità di bacino del fiume Arno, sostituita dall'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale.

Allo stato dei fatti, in mancanza di una normativa applicativa del decreto sopra indicato si continuano ad applicare le norme proprie delle Autorità di bacino in cui ricade l'area di progetto.

In dettaglio l'area in oggetto ricade nel territorio di pertinenza dell'Autorità di Bacino del f. Serchio e di quello dell'Autorità di Bacino del fiume Arno.

Questa situazione comporta che il grado di pericolosità e di fattibilità sia analizzato secondo le normative dei due enti preposti.

### 5.1 – QUADRO DI PERICOLOSITÀ SECONDO IL PGRA ARNO

Con delibere di Comitato Istituzionale n. 231 e 232 del 17 dicembre 2015 è stato adottato il Piano di Gestione del Rischio Alluvioni del Bacino del Fiume Arno con apposizione delle misure di salvaguardia.

La zona rientra nelle aree a pericolosità idraulica bassa P2 soggette all'articolo 11.

1. Nelle aree P.I.2 e P.I.1 e nelle aree di ristagno sono consentiti gli interventi previsti dagli strumenti di governo del territorio.

Nelle aree P.I.2 e P.I.1 e nelle aree di ristagno il PAI, nel rispetto delle condizioni fissate dagli strumenti di governo del territorio, persegue l'obiettivo di integrare il livello di sicurezza alle popolazioni mediante la predisposizione prioritaria da parte degli enti competenti ai sensi della legge 24 febbraio 1992, n. 225 di programmi di previsione e prevenzione.

## 5.2 – QUADRO DI PERICOLOSITÀ SECONDO IL PAI DEL F. SERCHIO

La zona in esame ricade all'interno delle aree classificate come BP: Aree a Bassa probabilità di inondazione e perciò soggetta all'articolo 25 delle Norme di Piano che prevedono:

Nelle aree di cui al comma 2 la pianificazione urbanistica, le opere infrastrutturali e la realizzazione di nuovi fabbricati od interventi su edifici esistenti, dovranno tenere in considerazione che esse, pur con tempi di ritorno elevati, potranno essere soggette ad allagamenti e/o inondazioni e dovranno pertanto contenere accorgimenti atti a modificare la vulnerabilità delle opere esistenti e previste in coerenza con l'articolo 50 delle presenti Norme (opere in auto sicurezza ovvero opere di parziale mitigazione del rischio idraulico).

Nel caso in esame le prescrizioni indicate nel paragrafo della "fattibilità Idraulica" riportate in precedenza sono sufficienti a ridurre la vulnerabilità di nuovi fabbricati in progetto.



## 6. Indagine Geognostica

Come detto in premessa per la caratterizzazione dei terreni di fondazione sono stati utilizzati i dati ricavati da cinque prove penetrometriche eseguite sull'area di intervento ed indicate come Pd1 ÷ Pd5 . (Vedi tavola indagini)

Nella prova penetrometrica dinamica viene infissa nel terreno un'asta, avente una punta a diametro standard, sfruttando l'energia cinetica fornita dalla caduta di un maglio. Il numero di colpi (N) necessari all'approfondimento dell'asta forniscono il valore della resistenza dinamica attraverso la quale è possibile definire le caratteristiche della stratigrafia presente.

Per l'esecuzione di tali prove è stato utilizzato, un penetrometro dinamico pesante (DPSH) che presenta le seguenti caratteristiche:

- peso maglio	63.5 Kg
- altezza caduta	75 cm
- area della punta	20 cm <sup>2</sup>
- angolo di apertura della punta conica	90°
- peso asta ( 1 metro )	8 Kg.
- intervallo di infissione per la lettura di " N "	20 cm

Le informazioni ricavate hanno permesso di ricostruire la seguente situazione stratigrafica:

Al disotto del livello di terreno vegetale, di circa 80 cm è presente un deposito costituito da limo argillo-sabbioso fino alla profondità di circa 220 cm.

A partire da questo livello la componente ciottolosa aumenta sensibilmente ed il deposito fino ad assumere la caratteristica di sabbie e ghiaie alla profondità di circa 4.00 m rispetto al piano campagna.

La prova P1 si è arrestata alla profondità di circa 500 cm, in corrispondenza dell'orizzonte ghiaioso.

Questa stratigrafia si ripete in maniera abbastanza regolare in tutte le prove eseguite a conferma di una geologia uniforme per tutto il lotto in oggetto.

Le uniche differenze rilevate sono riconducibili ad orizzonti sabbiosi di spessore ridotto od a modeste variazioni nella profondità del livello delle ghiaie. Queste variazioni risultano

comunque poco significative ai fini della caratterizzazione stratigrafica dell'area.

Ricapitolando quanto ricavato dalle prove eseguite è possibile ricostruire la seguente stratigrafia:

Profondità		Coesione	Densità Relativa	Angolo Attr.Int.
0.00 – 0.80	Terreno vegetale	===	===	===
0.80 – 2.20	Limo-sabbioso	0.4	Dr =25 %	28°
2.20 – 4.00	Limo sabbioso con ciottoli sparsi	0.8	Dr =35 %	30°
>4.00	Sabbia e ghiaia	=====	Dr =85 %	36°

Per una puntuale descrizione dei parametri geotecnici dei livelli indagati si rimanda agli elaborati relativi alle prove penetrometriche effettuate.

Al momento della realizzazione delle prove penetrometriche è stata individuata una falda alla profondità di circa 4.30

Alla luce delle indagini svolte non è emersa la presenza di depositi con caratteristiche geomeccaniche tali da dar luogo a significativi fenomeni di "subsidenza", sia in virtù dei modesti spessori di materiali compressibili, sia per la modesta soggiacenza della falda acquifera.

Analogamente sia i sopralluoghi sul terreno sia i risultati delle prove penetrometriche non hanno evidenziato particolari rilassamenti dei depositi associabili alla presenza di cavità sotterranee.

## 7. Indagine Sismica

L'entrata in vigore in via definitiva del D.M. 14.01.08 " **Testo Unitario – Norme Tecniche per le costruzioni**" ha richiesto il parametro Vs30, necessario per la definizione della classe di appartenenza del suolo di fondazione, indispensabile per le verifiche del sistema fondale delle opere in progetto.

A tale scopo è stata eseguita un'indagine Masw utilizzando 24 geofoni posizionati su una stesa eseguita all'interno dell'area di progetto.

I dati acquisiti ci hanno permesso di definire il valore di Vs30 necessario per la progettazione ai sensi delle NTC2008.

Inoltre, come anticipato in premessa, per la definizione della stratigrafia dell'area è stata eseguita un'indagine sismica con onde P su una sezione con direzione Nord – Sud: i dati ottenuti in questa sede sono stati integrati da quanto emerso dalle prove penetrometriche eseguite all'interno del lotto in esame ed i cui risultati sono stati illustrati nel precedente paragrafo.

### 7.1 INDAGINE MASW

Sulla base delle conoscenze della geologia dell'area è stata eseguita una stesa sismica di lunghezza di 36 m. La scelta di tale geometria garantisce una buona definizione della stratigrafia raggiungendo una profondità di indagine sufficiente allo scopo prefissato.

<b>Profilo sismico a Rifrazione S1 (Stesa 1)</b>	
N° Canali di registrazione	24
Distanza intergeofonica	1.5 m
Durata acquisizione	2 s
Campionamento	2048 $\mu$ s
Sistema di energizzazione	Mazza 12 Kg

Per caratterizzare la risposta sismica del sito in esame è stata effettuata una serie di acquisizioni MASW (Multi-channel Analysis of Surface Waves, analisi della dispersione delle onde di Rayleigh da misure di sismica attiva) utili a definire il profilo verticale della VS (velocità di propagazione delle onde di taglio).

Nel loro insieme, le procedure adottate sono state eseguite in accordo alle norme tecniche per le costruzioni del DM 14 gennaio 2008 (ex DM 14/09/2005).

Queste fanno risalire la stima dell'effetto di sito alle caratteristiche del profilo di velocità delle onde di taglio (VS). La classificazione dei terreni è stata quindi svolta sulla base del valore della Vs30 (il valore medio ponderato della VS nei primi 30m di profondità) definita dalla relazione:

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

in cui Vs<sub>i</sub> e h<sub>i</sub> sono rispettivamente la velocità delle onde di taglio e lo spessore dell'i-esimo strato. L'acquisizione è avvenuta tramite sismografo a 24 canali (mod. Pasi 16S24) collegato a geofoni verticali con distanza intergeofonica di 1.5 metri.

Sono state eseguite 3 energizzazioni, ottenute lasciando cadere un grave su un piattello in alluminio posto ad una distanza dal geofono G1 pari a 5 e 7 e 10 metri ed utilizzando il segnale ricevuto che presenta migliori caratteristiche. Il dato raccolto è stato poi elaborato col software "Masw" dell'Ing. Roma.

L'indagine ci ha permesso di definire la stratigrafia del sito individuando nel contempo anche la velocità Vs di ogni singolo strato. Quest'ultimo dato è stato quindi utilizzato per la definizione della "Categoria del suolo di fondazione" richiesto per la verifica geotecnica del sistema fondale.

## 7.2 DEFINIZIONE DELLA CATEGORIA DEL SUOLO DI FONDAZIONE

L'analisi dei dati ricavati dall'indagine Masw, riportati tra gli ci permettono di definire la categoria del suolo di fondazione come

Tipo B: Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs,30 compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero NSPT30 > 50 nei terreni a grana grossa e cu30 > 250 kPa nei terreni a grana fina).

Per eventuali integrazioni e chiarimenti si rimanda a quanto riportato negli elaborati in allegato.

## 7.3 INDAGINE SISMICA A

A completamento del quadro conoscitivo per la redazione della presente indagine è stata eseguita una prospezione sismica



a rifrazione con onde P lungo una sezione trasversale della zona in esame.

Considerando le caratteristiche dell'intervento, la geologia e la geomorfologia dell'area oggetto di indagine si è optato per una stesa sismica avente una di lunghezza di 48 m con interasse tra i geofoni di 2 m.

La scelta di tale geometria garantisce infatti una buona definizione della stratigrafia senza penalizzare particolarmente la profondità di indagine.

La prospezione sismica a rifrazione è un metodo di indagine che consente di costruire una sezione sismostratigrafica sulla base della misura dei tempi di propagazione delle onde di compressione (P) tra il punto di energizzazione in superficie (shot) e vari punti di ricezione (geofoni) disposti sulla superficie topografica lungo una stesa.

L'analisi della velocità di propagazione delle onde elastiche, longitudinali ( $V_p$ ) nel sottosuolo definita sulla base della distanza shot/geofoni ed il tempo di arrivo dell'impulso sismico consente di definire le proprietà fisico-meccaniche dei terreni poiché queste velocità sono proporzionali al grado di compattezza dei mezzi attraversati.

Il terreno viene energizzato, con l'utilizzo di una massa battente, in punti ben precisi lungo la stesa secondo il seguente schema:

N° 2 energizzazioni esterne allo stendimento ad una distanza dagli estremi, nel caso specifico, di 12 metri.

N° 2 energizzazioni simmetriche (end-shots) esterni allo stendimento ad una distanza dagli estremi uguale alla distanza tra i geofoni.

N° 1 una energizzazione (mid-shot) al centro della stesa.

Per la registrazione delle onde sismiche così generate nel sottosuolo, sono stati utilizzati dei geofoni con una frequenza propria di 4.5 Hz.

I sismogrammi sono stati registrati con il sismografo digitale PASI 16S24.

In allegato sono riportati i diagrammi tempi di arrivo-distanze e le sezioni ricavate dall'interpretazione effettuata al computer.

L'elaborazione dei dati ricavati dalla stesa sismica eseguita ha permesso di ricostruire la situazione stratigrafica riportata negli allegati a cui si rimanda per una più dettagliata analisi.

#### 7.4 ASPETTI SISMICI

Con l'entrata in vigore del D.M. 14.01.2008 la stima della pericolosità sismica viene definita mediante un approccio strettamente legato al sito di intervento (sito dipendente) e non più attraverso un criterio di appartenenza alla zona sismica (zona dipendente).

Per tale ragione l'Azione sismica di progetto viene calcolata per il sito oggetto di intervento utilizzando le informazioni disponibili nel reticolo di riferimento.

Le forme spettrali vengono definite per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento Pvr, partendo dai valori su sito di riferimento rigido orizzontale.

ag: accelerazione orizzontale massima al sito

Fo: valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale.

T\*c periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

I dati relativi all'intervento e al sito in esame possono così essere riepilogati:

Vita nominale Vn	50 anni
Classe d'uso Cu	2
Coefficiente d'uso	1
Vita di riferimento Vr= Vn*Cu	50 anni
Categoria del suolo	B
Coefficiente amplificazione Topografica	St 1 x
Coefficiente amplificazione stratigrafica	Ss 1.2 x
Fattore S = Ss * St	1.2

Tipo di elaborazione: Fondazioni

Sito in esame.

latitudine: 43,891103 longitudine: 10,557781

Classe: 2 Vita nominale: 50

Siti di riferimento

Sito 1 ID: 19382 Lat: 43,8970 Lon: 10,5068 Distanza: 4139,315

Sito 2 ID: 19383 Lat: 43,8988 Lon: 10,5761 Distanza: 1696,235

Sito 3 ID: 19605 Lat: 43,8488 Lon: 10,5785 Distanza: 4988,202

Sito 4 ID: 19604 Lat: 43,8471 Lon: 10,5092 Distanza: 6258,536

Parametri sismici

Categoria sottosuolo: B Categoria topografica: T1

Periodo di riferimento: 50 anni Coefficiente cu: 1

Operatività (SLO):  
Probabilità di superamento: 81 %  
Tr: 30 [anni]  
ag: 0,046 g  
Fo: 2,517  
Tc\*: 0,240 [s]

Salvaguardia della vita (SLV):  
Probabilità di superamento: 10%  
Tr: 475 [anni]  
ag: 0,134 g  
Fo: 2,419  
Tc\*: 0,292 [s]

Danno (SLD):  
Probabilità di superamento: 63 %  
Tr: 50 [anni]  
ag: 0,056 g  
Fo: 2,542  
Tc\*: 0,255 [s]

Prevenzione dal collasso (SLC):  
Probabilità di superamento: 5 %  
Tr: 975 [anni]  
ag: 0,173 g  
Fo: 2,372  
Tc\*: 0,301 [s]

#### Coefficienti Sismici

SLO:  
Ss: 1,200  
Cc: 1,460  
St: 1,000  
Kh: 0,010  
Kv: 0,005  
Amax: 0,536  
Beta: 0,180

SLV:  
Ss: 1,200  
Cc: 1,410  
St: 1,000  
Kh: 0,039  
Kv: 0,019  
Amax: 1,579  
Beta: 0,240

SLD:  
Ss: 1,200  
Cc: 1,450  
St: 1,000  
Kh: 0,012  
Kv: 0,006  
Amax: 0,658  
Beta: 0,180

SLC:  
Ss: 1,200  
Cc: 1,400  
St: 1,000  
Kh: 0,050  
Kv: 0,025  
Amax: 2,040  
Beta: 0,240



## 8. Liquefazione del terreno

Nelle nuove norme è stabilito che innanzitutto debba essere verificato che i terreni siano esenti da rischi di instabilità di pendii e di cedimenti permanenti causati da fenomeni di liquefazione o eccessivo addensamento in caso di terremoto.

Nel caso in studio sono esclusi problemi di stabilità geomorfologica, essendo il sito pianeggiante.

Per quanto concerne il potenziale di liquefazione sotto scuotimento sismico, fenomeno che può verificarsi solo in terreni prevalentemente sabbiosi sotto falda limitatamente ai primi 10÷15 m dalla superficie del terreno a causa della progressiva riduzione delle tensioni efficaci, i depositi presentano una granulometria che esce dal fuso granulometrico critico (limi argilloso sabbiosi in superficie e ghiaie e sabbie in profondità) e quindi in entrambi i casi tale da garantire un basso-nullo potenziale di liquefazione in relazione alla bassa magnitudo del terremoto atteso riscontrandosi le circostanze 1) e 5) di cui al par. 7.11.3.4.2. - *Esclusione della verifica a liquefazione* - delle NTC, non si ritiene necessario procedere a verifiche analitiche del potenziale di liquefazione dei depositi.

## 9. Conclusioni

Le caratteristiche stratigrafiche e geomeccaniche dei terreni di fondazione nell'area in esame sono tali da consentire l'adozione di fondazioni dirette con adeguati coefficienti di sicurezza a rottura in caso di carichi non elevati e non eccessivamente concentrati.

In caso contrario (carichi concentrati ed elevati) sarà necessario eseguire un approfondimento di indagine che permetta di definire in dettaglio le caratteristiche litostratigrafiche dell'area per poter meglio dimensionare il sistema fondazione – terreno.

La morfologia pianeggiante dell'area è l'assenza di fenomeni esondivi con tempo di ritorno di 30 e 200 anni escludono la presenza di problematiche di carattere geomorfologico ed idraulico.

Le indagini effettuate confermano quanto ricavabile dalle indagini eseguite a supporto dello strumento urbanistico vigente sia dal punto di vista geomorfologico, idraulico e sismico.

Le indagini svolte consentono altresì di esprimere parere favorevole circa la fattibilità delle opere previste dal presente P.A. nel rispetto delle indicazioni fornite.

Agostino Cei Geologo