

dott. Geologo Alessandro Ungari
- Pisa -
Via Trieste n. 25 - C.A.P. 56126
Tel.: 050 52 00 054 - Cell.: 347 64 38 298
C.F.: NGRLSN67B07B950H / P.IVA: 01651150508

COMUNE DI SAN GIULIANO TERME

PROVINCIA DI PISA

UTOE 32 LA FONTINA PRATICELLI - COMPARTO 4

PIANO PARTICOLAREGGIATO

PER LA REALIZZAZIONE DI UN COMPLESSO RESIDENZIALE

- SUB COMPARTO 4A -

OGGETTO: *STUDIO DI FATTIBILITÀ GEOLOGICA AI SENSI DEL 5/R/2020*

PROPRIETA': FINEURO CASA S.A.S. di Flamini Di Vano Michele & C. S.a.s.
e FINEURO S.a.s. di Nannicini Matteo & C.

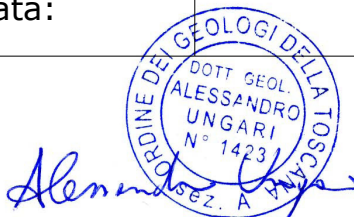
PROGETTAZIONE: Studio Nannicini Ingegneria e Architettura e Studio Tecnico
Pistelli e Associati

Redatto da:

dott. geol. Alessandro Ungari

Data:

febbraio 2021



Sommario

1. Premessa.....	3
1.1 Ubicazione del sito.....	3
1.2 Normative di riferimento.....	3
1.3 Deposito degli atti.....	4
2. Tipologia delle opere.....	5
3. Inquadramento urbanistico.....	5
4. Inquadramento territoriale.....	6
4.1 Quadro idrologico-idraulico e geomorfologico.....	6
4.2 Quadro geologico e cenni litotecnici.....	8
4.3 Quadro idrogeologico.....	9
5. Modello geologico-tecnico dell'area.....	11
5.1 Prove penetrometriche statiche CPTU.....	12
5.2 Prospezioni geofisiche.....	14
5.3 Dati di base.....	16
5.4 Modello geologico-tecnico di natura preliminare.....	17
6. Ricognizione delle norme di salvaguardia e dei vincoli.....	18
6.1 Distretto Appennino Settentrionale - PGRA.....	19
6.1.1 Pericolosità da alluvione fluviale.....	20
6.1.2 Pericolosità derivata da fenomeni di flash flood.....	21
6.1.3 Rischio di alluvione.....	21
6.1.4 Fase transitoria ai sensi della D.C.I.I. 17 dicembre 2015, n. 232.....	22
6.2 Autorità di Bacino del fiume Arno - PRRI e PAI.....	22
6.2.1 Piano Stralcio Riduzione Rischio Idraulico (PRRI).....	22
6.3 La normativa idraulica della Regione Toscana.....	22
6.4 Valutazione dei vincoli.....	26
7. Condizioni di pericolosità e vulnerabilità secondo gli SU vigenti.....	26
8. Pericolosità sismica e suo rischio.....	30
8.1 Pericolosità sismica di base.....	32
8.1.1 Microzonazione sismica di livello 1.....	32
8.1.2 Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS).....	33
9. Pericolosità del sito in base al D.P.G.R.T. 5/R del 30 gennaio 2020.....	33
10. Fattibilità per il Piano in base al D.P.G.R.T. 5/R del 30 gennaio 2020.....	34
11. Indicazioni progettuali programma sulle indagini.....	34
12. Effetti di doppia risonanza suolo-struttura.....	37
13. Terre e rocce da scavo.....	38
14. Considerazioni conclusive.....	38

Allegati e tavole fuori testo in fascicolo separato

- Pisa -

Via Trieste n. 25 - C.A.P. 56126

Tel.: 050 52 00 054 - Cell.: 347 64 38 298

C.F.: NGRLSN67B07B950H / P.IVA: 01651150508

1. Premessa

Su incarico ricevuto dall'ing. Francesco Nannicini, sono stati effettuati studi di natura geologico-tecnica a supporto di un progetto relativo ad un **Piano Particolareggiato**, disciplinato dal punto di vista urbanistico con una specifica scheda-norma e finalizzato alla realizzazione di un complesso residenziale su di un terreno di proprietà della FINEURO CASA S.a.s. di FLAMINI di Vano Michele & C. S.a.s. e FINEURO S.a.s. di Nannicini Matteo & C., ubicato a La Fontina - Praticelli, località del territorio comunale di San Giuliano Terme (PI).

Lo scopo del presente lavoro, una volta definito il quadro territoriale, le salvaguardie e i vincoli, nonché stimato le pericolosità e i rischi ricadenti sul sito specifico, è stato quello di valutare la fattibilità realizzativa dal punto di vista geologico del **Piano Particolareggiato** in progetto, secondo la nuova normativa vigente (5/R del 2020), alla luce anche dell'approvazione del Piano Operativo Comunale (POC) da parte dell'Amministrazione del Comune di San Giuliano Terme (PI).

1.1 Ubicazione del sito

La porzione di territorio in oggetto si estende su di una superficie territoriale di 8.511 mq ed è inserita tra via dei Condotti a SE (lungo la quale corre l'Acquedotto Mediceo dal capoluogo pisano verso Asciano), via Trilussa a SW, via R. Fucini a NW e delle aree agricole a NE, ovvero nella parte settentrionale della località La Fontina, dove si chiude il margine edificato dell'UTOE 32 La Fontina - Praticelli. Per la superficie di 8.511 mq non è stata considerata la fascia di 140 mq lungo via dei Condotti, di proprietà del Demanio e ricadente nel comprensorio di bonifica del Consorzio 4 Basso Valdarno (ex Ufficio dei Fiumi e Fossi di Pisa).

Tale area viene contraddistinta al Catasto Terreni del Comune di San Giuliano Terme col Foglio 88 mappali 207 e 208.

Dal punto di vista topografico il sito d'interesse risulta inquadrato nello stralcio della sezione 273060 Cartografia Tecnica Regionale della Toscana in scala 1:10.000 (**Tavola 1**). La **Tavola 2** evidenzia, in dettaglio, l'area specifica d'intervento (Foglio 18F35, CTR Toscana - scala 1:2.000). Nella **Tavola 3** abbiamo, invece, riportato l'estratto catastale specifico alla scala 1:2.000.

1.2 Normative di riferimento

Il presente studio, oltre a considerare il quadro geologico conoscitivo emerso dalle indagini tecniche condotte a supporto degli strumenti urbanistici SU vigenti nell'Amministrazione comunale di San Giuliano Terme (ultimo approvato in ordine cronologico con Delibera C.C. n. 54 del 30 ottobre 2019 è il POC Piano Operativo Comunale), è stato condotto in ottemperanza alle pertinenti normative vigenti:

Decreto Legislativo 3 aprile 2006, n. 152 - "Norme in materia ambientale" e successive modifiche e integrazioni;

Decreto Consiglio Regione Toscana 24 luglio 2007, n. 72 - "Piano di Indirizzo Territoriale";

Decreto Ministeriale 14 gennaio 2008 - "Norme tecniche per le costruzioni" (Testo unitario);

Circolare Consiglio Superiore Lavori Pubblici 2 febbraio 2009, n. 617 - "Istruzioni per l'applicazione delle N.T.C. di cui al D.M. 14 gennaio 2008";

Decreto Presidente Giunta Regione Toscana 9 luglio 2009, n. 36/R - "Regolamento di attuazione dell'articolo 117, commi 1 e 2, della Legge regionale 3 gennaio 2005, n. 1 (Norme per il governo del territorio). Disciplina sulle modalità di svolgimento delle attività di vigilanza e verifica delle opere e delle costruzioni in zone soggette a rischio sismico";

Deliberazione Consiglio Regione Toscana 2 luglio 2014, n. 58 - "Integrazione del Piano di Indirizzo Territoriale (PIT) con valenza di piano paesaggistico. Adozione ai sensi dell'articolo 17, comma 1, della Legge regionale 3 gennaio 2005, n. 1 (Norme per il governo del territorio)";

Legge Regione Toscana 10 novembre 2014, n. 65 - "Norme per il governo del territorio";

Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018 - "Norme tecniche per le costruzioni";

Legge Regione Toscana 24 luglio 2018, n. 41 - "Disposizioni in materia di rischio di alluvioni e di tutela dei corsi d'acqua in attuazione del decreto legislativo 23 febbraio 2010, n. 49 (Attuazione della direttiva 2007/60/CE relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi di alluvioni) Modifiche alla LR 80/2015 e alla LR 65/2014";

Circolare Consiglio Superiore Lavori Pubblici 21 febbraio 2019, n. 7 - "Istruzioni per l'applicazione dell'aggiornamento delle N.T.C. di cui al D.M. 17 gennaio 2018";

Decreto Presidente Giunta Regionale 30 gennaio 2020 n. 5/R - "Regolamento di attuazione dell'articolo 104 della legge regionale 10 novembre 2014, n. 65 (Norme per il governo del territorio) contenente disposizioni in materia di indagini geologiche, idrauliche e sismiche".

Sono state prese in considerazione anche l'**O.P.C.M. 20 marzo 2003, n. 3274** e le successive modifiche e integrazioni, che definiscono la nuova classificazione sismica del territorio nazionale e le nuove norme tecniche per la costruzione in zona sismica.

Infine, abbiamo preso visione delle cartografie contenute sia nel Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico del bacino del fiume Arno (PAI), redatto ai sensi e per gli effetti della **L. 183/1989** e del **D.L. 180/1998**, con le relative fonti normative di conversione, modifica e integrazione, sia nel Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (PGRA) del Distretto idrografico dell'Appennino Settentrionale, con le relative misure di salvaguardia, adottato con le **delibere 231 e 232 del 17 dicembre 2015** dal **Comitato Istituzionale Integrato** (ai sensi dell'art. 4 comma 3 del D.Lgs. 219/2010 da componenti designati dalle regioni il cui territorio ricade nel distretto idrografico non già rappresentate nel medesimo Comitato), come richiesto dalle due direttive europee 2000/60/CE e 2007/60/CE, e approvato definitivamente dallo stesso Comitato Istituzionale con **delibera 235 del 3 marzo 2016**.

1.3 Deposito degli atti

La presente relazione viene depositata presso gli Uffici Regionali per la Tutela del Territorio per i controlli di legge previsti ai sensi del **D.P.G.R. 30/01/2020 n. 5/R** in attuazione delle disposizioni di cui alla **L.R. 65/2014** (Norme per il governo del territorio).

2. Tipologia delle opere

Il **Piano Particolareggiato** in progetto prevede la realizzazione di nuovi immobili ad uso residenziale e relative opere a corredo, a chiusura del margine edificato dell'UTOE 32 La Fontina - Praticelli, associata a un'organizzazione della viabilità interna a servizio delle civili abitazione che collegherà via R. Fucini con via dei Condotti.

Gli interventi terranno conto della particolare collocazione a margine della zona agricola E1, posta su tutto il confine NE del lotto, sia nella scelta delle tipologie che per i materiali. La sistemazione degli spazi ad uso pubblico sarà rivolta ad un corretto inserimento a margine dell'acquedotto mediceo. In **Figura 1** è riportata la tavola di progetto relativa alla planimetria generale dove sono ben evidenti i nuovi edifici residenziali.

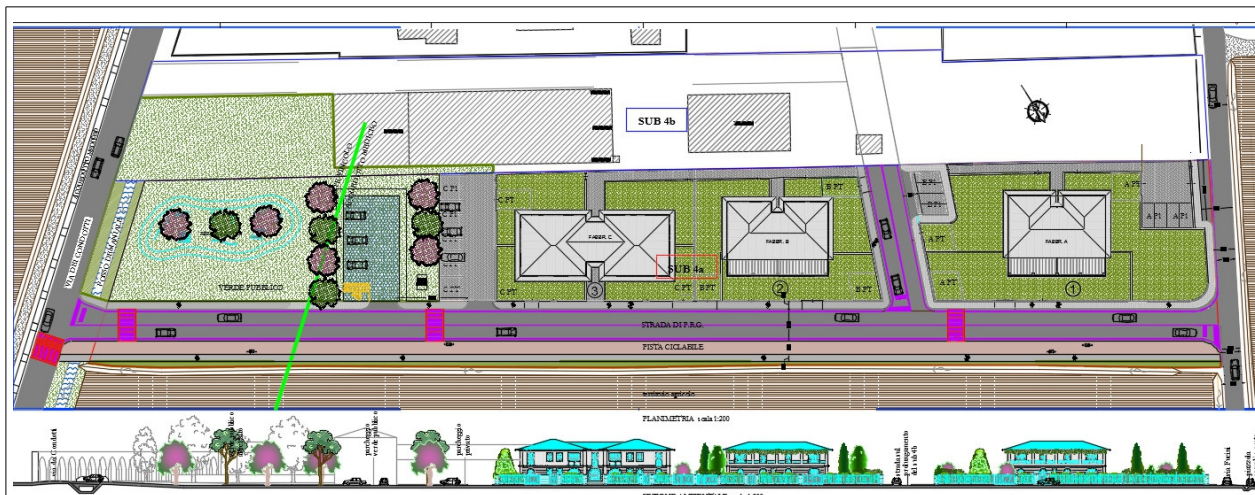


Figura 1 - Area d'interesse (SUB COMPARTO 4A del COMPARTO 4 UTOE 32 La Fontina - Praticelli) dove sono evidenti i nuovi edifici in progetto e una sezione degli stessi (fuori scala).

La scheda-norma è quella del COMPARTO n. 4 dell'UTOE n. 32 La Fontina - Praticelli e il **Piano Particolareggiato** in esame si riferisce al SUB COMPARTO 4A (**Allegato A**).

Le caratteristiche del **Piano Particolareggiato** vengono, comunque, indicate negli elaborati redatti dai tecnici dello Studio Nannicini Ingegneria e Architettura di Pisa (PI), via di Gello n. 17, e dello Studio Tecnico Pistelli ed Associati di San Giuliano Terme (PI), vicolo Vecchio Ospizio n. 2/A, ai quali rimandiamo per maggiori dettagli architettonici.

In riferimento alle NTC 2018 e in base alle previsioni progettuali, pensiamo di inquadrare preliminarmente le opere secondo quanto segue:

- la vita nominale **V_n** risulta uguale a 50 anni (Costruzioni con livelli di prestazione ordinari);
- la classe d'uso **C_u** di riferimento, in presenza di azioni sismiche, è la Classe II (Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali.....);
- il periodo di riferimento **V_r**, definito dalla classe d'uso e dal suo coefficiente, è pari a 50 anni (50×1).

3. Inquadramento urbanistico

Sotto il profilo urbanistico, l'area d'interesse specifico viene inserita nell'UTOE n. 32 LA FONTINA - PRATICELLI, come già anticipato, e va ad inquadrarsi nel Sistema Insediativo/Sub-sistema dell'edificato recente, in base alla Carta dei sistemi e sub-sistemi di PS del Comune di San Giuliano Terme, all'interno di AGGREGAZIONI EDILIZIE DI FORMAZIONE RECENTE - ZONE B (art. 19 delle NTA del POC) - SOTTOZONE B1. Nella stessa carta viene anche evidenziato che parte del sito appartiene al

- Pisa -

Via Trieste n. 25 - C.A.P. 56126

Tel.: 050 52 00 054 - Cell.: 347 64 38 298

C.F.: NGRLSN67B07B950H / P.IVA: 01651150508

Sistema Funzionale/Sub-sistema dei servizi ed attrezzature di interesse generale ZONE F (art. 24 sempre del POC), all'interno di AREE DESTINATE A VERDE PUBBLICO ATTREZZATO - SOTTOZONE F1.

Secondo quanto si legge nelle Norme del POC, le SOTTOZONE B1 comprendono le zone urbanizzate caratterizzate dalla compresenza di edifici diversi per epoca storica, caratteristiche tipologiche e architettoniche, e modalità di relazione con la struttura urbana e territoriale. In tali zone sono ammessi interventi di riqualificazione urbanistica; non sono ammesse nuove costruzioni, salvo diversa previsione contenuta nelle singole schede norma e previste all'interno dei Piani di Recupero di iniziativa pubblica individuati dall'Amministrazione comunale. Mentre le SOTTOZONE F1 comprendono le parti del territorio destinate alla pubblica fruizione e ad attività del tempo libero. In dette zone le previsioni del POC si attuano attraverso un progetto unitario di iniziativa pubblica o privata convenzionata. Gli interventi di iniziativa privata convenzionata sono subordinati all'approvazione di uno specifico piano attuativo. Le alberature di alto fusto e le essenze particolarmente significative presenti nell'area dovranno essere conservate e integrate nella sistemazione di progetto; l'abbattimento è consentito solo se strettamente necessario e previo parere dell'ufficio comunale competente. Contestualmente all'approvazione del progetto unitario l'Amministrazione definirà le regole per la gestione dell'area e dei servizi ivi previsti.

Nello specifico, l'Amministrazione comunale di San Giuliano Terme ha redatto per il sito in esame una **specificata scheda norma (UTOE n. 32 LA FONTINA - PRATICELLI / SCHEDA NORMA del COMPARTO n. 4**, approvata con delibera C.C. n. 60 del 25 luglio 2012, oggi parte integrante delle schede norma del POC) per una corretta programmazione e attuazione degli interventi (**Allegato A**). Come già accennato, il Piano si riferisce al **SUB COMPARTO 4a**.

Le schede norma, infatti, stabiliscono per ciascun comparto i parametri urbanistici ed edilizi nonché le indicazioni morfologiche, tipologiche e funzionali per la predisposizione dei singoli Piani.

4. Inquadramento territoriale

Il sito in studio si colloca, geograficamente, a NE dell'agglomerato urbano di Pisa, in una zona completamente pianeggiante del basso Valdarno e, in particolar modo, della Pianura Pisana.

4.1 Quadro idrologico-idraulico e geomorfologico

La Pianura Pisana è una pianura costiera e fluvio-deltizia che, con il lembo versiliese, costituisce il terminale del complesso sistema idrografico Arno-Serchio. A partire dalla foce del fiume Era, affluente di sinistra dell'Arno, l'area di forma sub-trapezoidale si allarga notevolmente verso la costa andando così a formare un ventaglio di terreni degradanti verso il mare con una pendenza dello 0,05%. Questa debole pendenza dei depositi fluvio-palustri provoca, anche ora, la presenza di acque lentamente fluenti e/o vasti ristagni di acqua, con tendenza alla formazione di nuove aree paludose nonostante le opere di bonifica effettuate nel corso dei secoli, e la conseguente abbondanza di falde sotterranee insediate nel sottosuolo. L'ambiente tipicamente umido è peraltro accentuato dalla vicinanza del mare, dal cui livello e dalle cui maree è regolato il moto di tutte le acque, sia superficiali che sotterranee.

L'idrografia dell'area pisana è rappresentata sia dal fiume Arno, il principale corso d'acqua che attraversa la città di Pisa con direzione E-W, sia da un complesso sistema di fossi e canali ("Sistema delle Bonifiche") preposto allo scolo delle acque meteoriche.

Oltre che dai torrenti e fossi montani e collinari, i quali alimentano direttamente alcuni canali, l'idrologia della Pianura Pisana risulta ovviamente condizionata anche dalle acque meteoriche di precipitazione diretta. Sia che ruscellino in superficie defluendo nei collettori sia che percolino nel terreno venendo successivamente drenate dai canali di bonifica, è da esse che trae origine larga parte delle acque in circolazione nella rete idrografica minore, dalla quale poi arriveranno rapidamente nelle aste maggiori costituenti il reticolo idrografico principale.

I canali del reticolo idraulico che costituiscono il sistema delle bonifiche e i bacini che vi sottendono appartengono a due ulteriori sottosistemi tra loro separati, quello delle bonifiche a scolo naturale e quello delle bonifiche a scolo meccanico.

Il sottosistema a scolo naturale (o delle acque alte) smaltisce per gravità le acque meteoriche provenienti dalle zone morfologicamente più elevate, mentre il sottosistema a scolo meccanico (o delle acque basse) smaltisce le acque ristagnanti attraverso un prosciugamento per esaurimento meccanico mediante sollevamento agli impianti idrovori.

Sia le acque a scolo naturale che quelle a scolo meccanico vengono immesse in canali ricettori detti di "acque medie".

Per quanto riguarda l'idrografia secondaria, tutto il territorio posto a N dell'Arno convoglia le sue acque nel fiume Morto, dal quale prende il nome l'intero Bacino di Bonifica definito dalla linea di displuvio dei Monti Pisani, dal fiume Serchio, dall'Arno e dal mare. Tale comprensorio è suddiviso in ulteriori settori, tra i quali il Sottobacino di Bonifica a scolo naturale comprendente il centro storico di Pisa, Porta a Lucca, Cisanello, Pisanova e tutto il territorio sud-orientale di San Giuliano Terme.

Nel dettaglio, la zona in studio è interessata direttamente dal fosso che corre lungo la via dei Condotti, sul lato Ovest della stessa, che è chiamato fosso Sarragone. Tale linea idraulica, che in base alla **L.R. 79/2012** aggiornata con **D.C.R. 28/2020**, fa parte del reticolo idrografico necessitante manutenzione, sorveglianza e gestione al fine di garantire il buon regime delle acque, prevenire e mitigare fenomeni alluvionali, serve il territorio rurale dell'area N di Ghezzano e de La Fontina, raccogliendo le acque meteoriche del suo comparto per convogliarle, dopo un percorso più o meno lungo e attraverso altri corsi d'acqua, nel fiume Morto, che ha sfocio in mare individualmente. Il fosso Sarragone risulta, così, di competenza del Consorzio 4 Basso Valdarno, che ne cura la bonifica tramite la manutenzione ordinaria e straordinaria.

Dal punto di vista geomorfologico, le aree pianeggianti che caratterizzano l'intero territorio comunale di San Giuliano Terme non presentano aspetti di particolare interesse: la loro conformazione esclude, infatti, problematiche al riguardo, garantendo un assetto, nel complesso, stabile. In questo senso l'area specifica, che si assesta su quote di poco superiori ai 2 m s.l.m.m., non risulta vincolata come visibile dalla **Tavola 4**, grazie alla quale è anche possibile notare che i terreni interessanti il comparto sembrano prevalentemente argillosi e confinanti con un'ampia area caratterizzata da sedimenti di paleoalveo.

- Pisa -

Via Trieste n. 25 - C.A.P. 56126

Tel.: 050 52 00 054 - Cell.: 347 64 38 298

C.F.: NGRLSN67B07B950H / P.IVA: 01651150508

4.2 Quadro geologico e cenni litotecnici

La Pianura Pisana ha iniziato a individuarsi come entità geografica alla fine del Miocene superiore, al termine dell'orogenesi appenninica, grazie all'instaurazione del regime distensivo che portò all'apertura del Mar Tirreno. Durante tale fase il margine occidentale della catena appenninica venne fortemente dislocato dall'azione di faglie dirette e il litorale pisano-versiliese venne interessato da un progressivo sprofondamento valutabile nell'ordine di alcune migliaia di metri. Negli ampi bacini e fosse tettoniche così formati, a controbilanciare la subsidenza in atto, iniziarono a depositarsi i sedimenti dei cicli neogenici e quaternari.

Oggi questa Pianura rappresenta un sistema complessivamente progradante verso il mare aperto e caratterizzato dalla presenza sia di sedimenti alluvionali risultanti dall'accumulo dei depositi di natura fluvio-deltizia e fluvio-lacustre del complesso sistema idrografico Arno-Serchio sia di sedimenti di carattere eolico-transizionale appartenenti ai lidi e alle dune litoranee. Nel loro insieme tali depositi poggiano su un substrato la cui natura è riferibile a quella delle unità litostratigrafiche osservabili sui rilievi dei Monti Pisani e di quelli d'Oltreserchio, dalle unità alloctone liguri sino al complesso filladico quarzitico del Verrucano. In corrispondenza della città di Pisa le indagini geofisiche hanno evidenziato per il tetto di tale substrato litoide una profondità di 1000 m circa.

L'attuale situazione è legata, anche, agli effetti della presenza di vaste aree paludose in rapporto alle variazioni eustatiche del livello marino e ai mutevoli equilibri della dinamica costiera. In quest'area sono presenti così sedimenti di natura alluvionale separati con il mare aperto da depositi eolico-transizionali dei lidi e delle dune litoranee.

La Carta litotecnica riportata in **Tavola 5** evidenzia che la porzione di Pianura Pisana, sulla quale ricade il sito in esame, risulta caratterizzata dalla presenza di sedimenti alluvionali attuali di natura prevalentemente argillosa (**PA**): si tratta di terreni argillosi, argillo-limosi, argillo-sabbiosi e limo-argillosi.

La **Tavola 6**, mappa prelevata dalla cartografia geologica della Regione Toscana, mostra a prima vista una disomogeneità dei sedimenti che caratterizzano questa porzione della piana di Pisa: siamo di fronte, infatti, a un limite geologico tra depositi continentali quaternari, in particolare olocenici, che ricade al margine della proprietà in esame con la porzione dell'edificato esistente. Le litologie presenti sembrano essere caratterizzate da sabbie e limi, nel sottosuolo pertinente alla nostra fascia di terreno, confinanti nell'immediato S con terreni costituiti da limi e argille.

Le informazioni geotematiche che possiamo ricavare da dati a nostra disposizione, come riporta la **Figura 2**, riguardano alcune indagini puntuali effettuate nell'intorno del sito specifico. Queste sono rappresentate da alcune prove penetrometriche statiche e da un sondaggio a carotaggio continuo (**Allegato B**). Le penetrometrie relative al database geologico regionale sono 6: sui terreni limosi e argillosi citati, immediatamente a S della fascia di terreno in esame, in numero di 4 (**7085**, **7086**, **7087** e **7088**) e spinte a profondità di 10 m dal p.c.; quelle ubicate sulle sabbie e limi, un po' più distanti in posizione NE 2 (**10390** e **10391**) con approfondimento fino a -25 m dal piano campagna. Della campagna di indagine a supporto della viabilità di raccordo N tra il nuovo polo ospedaliero, la S.S. n. 12 del Brennero, la S.S. n. 1 Aurelia e la S.P. n. 2 Vicarese (Tratta Madonna dell'Acqua - Cisanello),

- Pisa -

Via Trieste n. 25 - C.A.P. 56126

Tel.: 050 52 00 054 - Cell.: 347 64 38 298

C.F.: NGRLSN67B07B950H / P.IVA: 01651150508

che il sottoscritto seguì nel 2006 per conto del geol. M. Ghigliotti, abbiamo la penetrometrie **CPT4** a -25 m dal p.c. e il sondaggio **S1** spinto a ben 56 m di profondità.

Il loro esame, tuttavia, non mostra il contrasto litologico che emerge tramite la lettura della cartografia geologica. Pertanto, come ci suggerisce la letteratura tecnica, il sottosuolo della zona di Pisa è descrivibile attraverso un'alternanza di litotipi da limo-argillosi a sabbiosi, spesso con geometria lentiforme, complessivamente sovrapposti a un importante livello di argille grigio-plastiche (le cosiddette Argille compressibili o Pancone). Queste presentano caratteristiche meccaniche scadenti in relazione alla capacità portante e alla suscettibilità ai cedimenti cosicché la minore o maggiore profondità del loro tetto dal p.c. configura situazioni più o meno critiche dal punto di vista geotecnico.

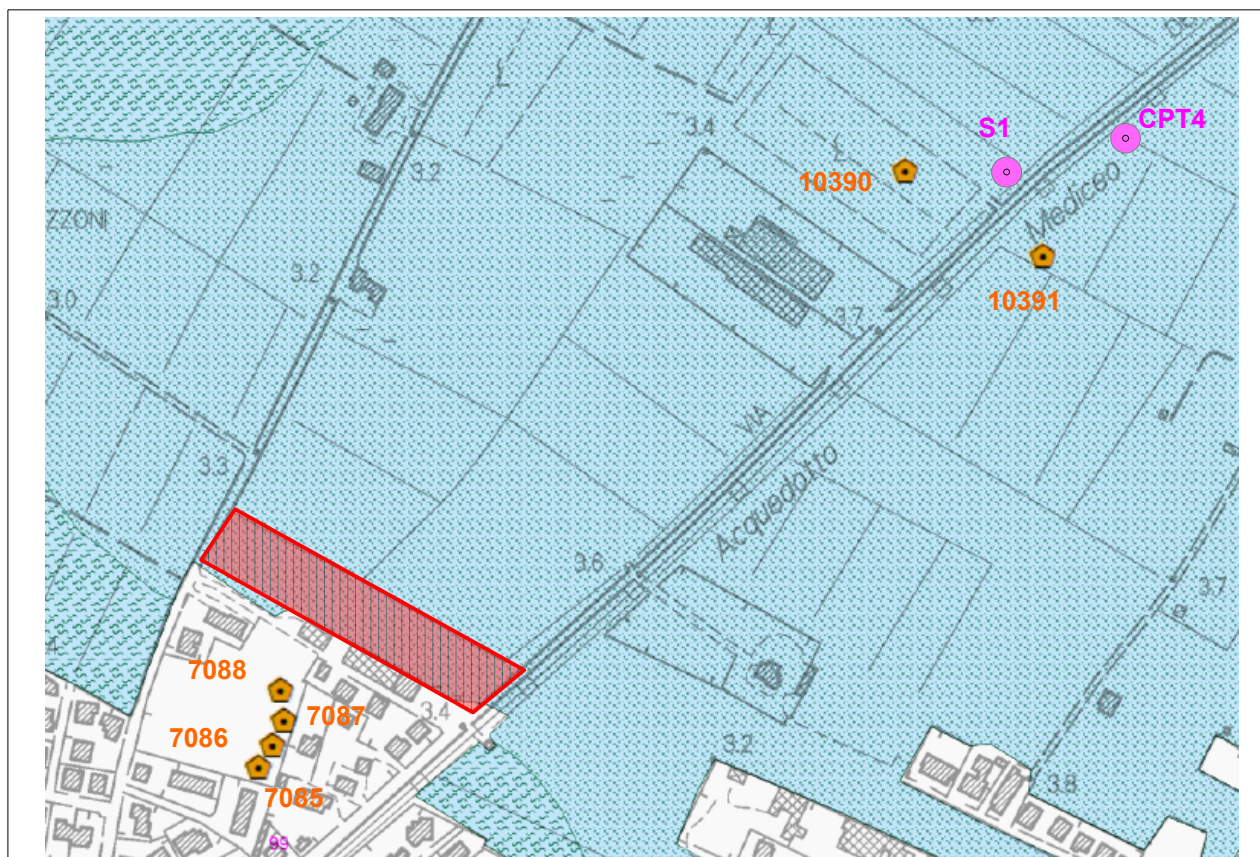


Figura 2 - COMPARTO 4A in evidenza e ubicazione di alcune indagini eseguite nel suo intorno, a color arancio n. 6 prove penetrometriche statiche dal database geologico regionale toscano e a color magenta n. 1 sondaggio S1 e n. 1 penetrometria statica prese dalla relazione geologica e geotecnica per la viabilità di raccordo N tra il nuovo polo ospedaliero, la S.S. n. 12 del Brennero, la S.S. n. 1 Aurelia e la S.P. n. 2 Vicarese - Tratta da Madonna dell'Acqua a Cisanello redatta dal geol. M. Redini nel 2007 (su carta geologica fuori scala).

Su questo argomento dovranno essere programmate adeguate indagini geognostiche di campagna, associate sicuramente a prove di laboratorio su campioni di terreno raccolti in modo appropriato e da tecnici competenti in materia. Alcune di queste sono già state eseguite per il presente studio e saranno esposte successivamente.

4.3 Quadro idrogeologico

Ricostruzioni stratigrafiche del sottosuolo appartenente alla Pianura Pisana, ricavate dai numerosi pozzi esistenti e dai rilevamenti di superficie, evidenziano la complessità del sistema deposizionale

- Pisa -

Via Trieste n. 25 - C.A.P. 56126

Tel.: 050 52 00 054 - Cell.: 347 64 38 298

C.F.: NGRLSN67B07B950H / P.IVA: 01651150508

marino-transizionale-continentale, nel quale si originano ripetute alternanze ed eteropie tra depositi a granulometria molto variabile. Sedimenti di natura sicuramente fluviale di età assai recente si trovano sepolti sotto altri di facies marina retrolitorale e, più verso il mare, sotto i sedimenti dei lidi del sistema deltizio tardo-olocenico. Ciò a testimonianza di come sia stata fondamentale nello sviluppo di questa pianura la dipendenza dai cambiamenti glacio-eustatici del livello del mare.

Dal punto di vista litostratigrafico, pertanto, il substrato della Pianura Pisana è caratterizzato da un'alternanza di sedimenti di ambiente continentale e ambiente marino. Le notevoli differenze litologiche e tessiturali dei litotipi presenti, che determinano importanti variazioni nel comportamento idrogeologico, influenzando in particolare la permeabilità, hanno determinato la formazione di un sistema acquifero multistrato che, dall'alto verso il basso, può essere così schematizzato:

Acquifero freatico - È l'acquifero più superficiale della pianura, un sistema complesso e assai articolato con sede nei livelli più grossolani e spesso qualche metro. La geometria generalmente lenticolare di tali livelli sabbiosi e sabbioso-limosi comporta la presenza di alcune falde sospese a carattere semi-freatico. Il tetto si trova quasi sempre in prossimità del p.c., con scarsa escursione stagionale; tale posizione determina un'alta vulnerabilità dell'acquifero e ne impedisce l'utilizzo a scopi idropotabili.

Acquifero artesiano in sabbia - Assai sfruttato, corrisponde ai livelli sabbiosi marini ed eolici, posti tra 30-40 m circa di profondità al di sotto dell'area urbanizzata di Pisa e affioranti nella zona di Coltano, area di ricarica.

Acquifero artesiano in ghiaia - Corrisponde al livello dei Conglomerati dell'Arno e del Serchio da Bientina, ubicato a circa 140-150 m di profondità in corrispondenza della città di Pisa, e rappresenta il più importante acquifero in pressione di tutta la pianura, molto sfruttato anche per usi idropotabili.

La Pianura Pisana è quindi costituita, in gran parte, dalla giustapposizione non ordinata di termini litologici a granulometria (e permeabilità) variabile, aggregati in lenti anche molto estese in senso orizzontale. Laddove prevale la componente limosa o sabbiosa del deposito, in cui i meati intergranulari sono interconnessi tra loro, si ha infiltrazione delle acque meteoriche, mentre in corrispondenza dei livelli più propriamente argillosi, impermeabili e a granulometria più fine, prevale il ruscellamento. Ciò si traduce in una circolazione idrica (seppur molto limitata) per falde sovrapposte, con deflusso preferenziale dell'acqua nei litotipi a più alto grado di permeabilità relativa. Le diverse falde sono comunque riconducibili a un'unica circolazione idrica sotterranea, dato che questo particolare tipo di sedimenti con forme lenticolari lascia moltissime soluzioni di continuità tra depositi permeabili o semipermeabili e depositi impermeabili.

Nell'area d'interesse, l'associazione di litotipi a prevalenza coesiva (limi e argille) si traduce in una permeabilità relativa primaria generalmente bassa/medio-bassa che aumenta leggermente in corrispondenza dei livelli più o meno continui delle intercalazioni sabbioso e limose, che ospitano acqua in circolazione. Livelli quasi impermeabili si hanno in corrispondenza delle intercalazioni puramente argillose e torbose.

Dalla Carta idrogeologica di **Tavola 7** si deduce che l'intera area de La Fontina e di Praticelli è caratterizzata da un acquifero alluvionale di pianura con la presenza di un sistema freatico o semifreatico, spesso qualche metro, alimentato dalle acque di pioggia, da queste influenzato e strettamente legato alla rete idrografica superficiale. Qui risaltano le curve isopieze riferite al l.m.m., i

cui dati (campagna marzo 1997) indicano una profondità della falda superficiale posta intorno al mezzo metro dal p.c. locale.

Ciò viene confermato, anche, dalle varie informazioni che abbiamo sul territorio specifico, relative a pozzi privati, e grazie alle indagini svolte durante il presente studio. Tali valori sono, naturalmente, da riferire ai periodi di massima ricarica che ci sono durante l'anno; in quelli più siccitosi, invece, la superficie freatica o semifreatica tende a deprimersi, talvolta in certe estati in maniera notevole.

5. Modello geologico-tecnico dell'area

Nel mese di febbraio 2021 sono state eseguite alcune indagini geognostiche a supporto del presente studio e utili per i futuri interventi edilizi di natura residenziale di cui il **Piano Particolareggiato** in esame ne rappresenta la pianificazione. Si è trattato di:

- n. 1 prova sismica superficiale tramite tecnica "Multichannel Analysis of Surface Waves" (**MASW**) in data 16 febbraio 2021;
- n. 2 sondaggi verticali in sismica passiva a stazione singola (**HVSR1** e **HVSR2**) in data 16 febbraio 2021;
- n. 2 prove penetrometriche statiche con piezocono (**CPTU1** e **CPTU2**) in data 23 febbraio 2021.

In **Figura 3** sono evidenziate le esatte ubicazioni delle varie indagini svolte in situ per questa fase preliminare di studio.

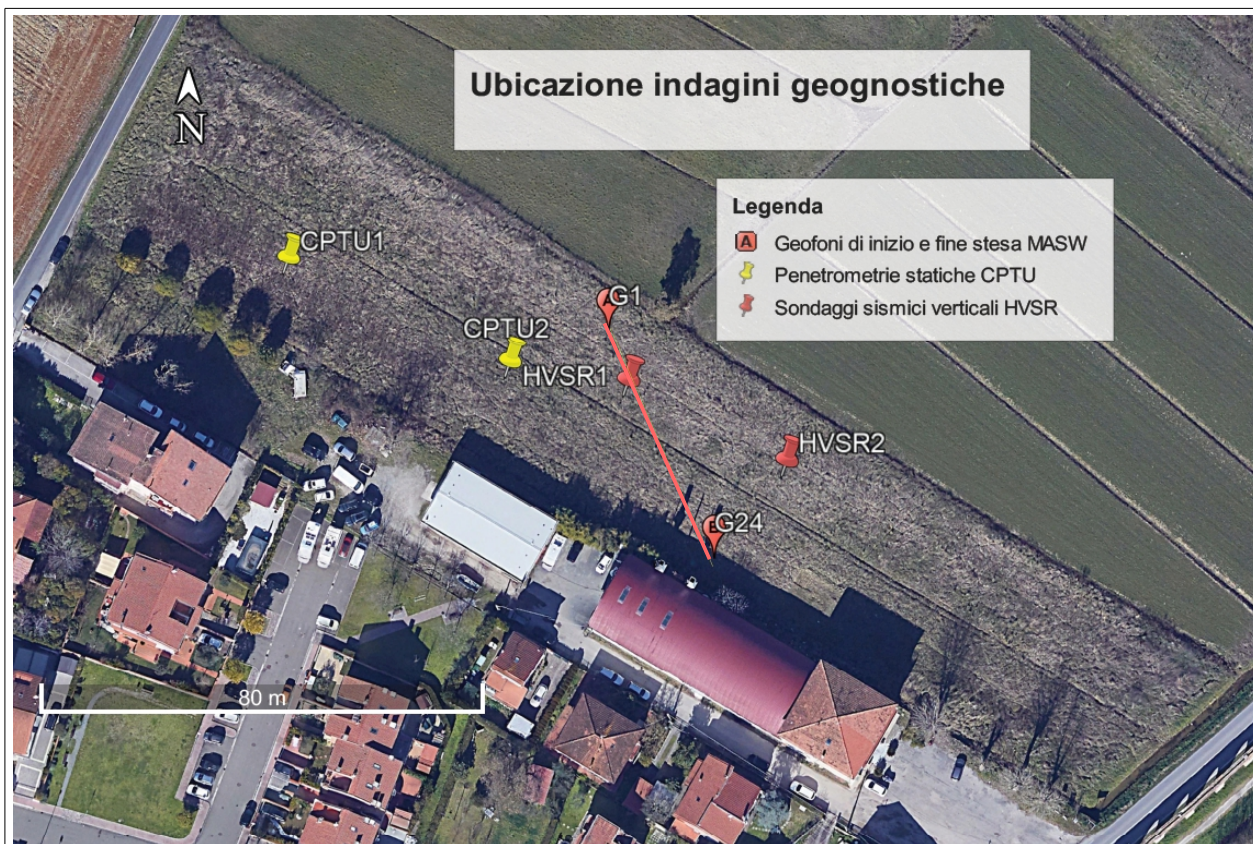


Figura 3 - Ubicazione delle prove penetrometriche **CPTU1** e **CPTU2**, della stesa **MAWS** con i suoi geofoni di inizio e fine, dei due sondaggi sismici verticale **HVSR1** e **HVSR2**.

- Pisa -

Via Trieste n. 25 - C.A.P. 56126

Tel.: 050 52 00 054 - Cell.: 347 64 38 298

C.F.: NGRLSN67B07B950H / P.IVA: 01651150508

5.1 Prove penetrometriche statiche CPTU

Lo strumento utilizzato per queste prove è un penetrometro statico con piezocono modello Pagani Geotechnical Equipment tipo TG 73 200 KN.

Tale penetrometro è autoancorante tramite elicoidi di diametro 220 mm (profondità di infissione di circa 170 cm), integrato nella punta, con acquisizione dati automatica, punta elettrica con celle di carico separate per R_p e R_l , piezocono e due inclinometri.

La prova con piezocono (CPTU) è l'evoluzione della prova penetrometrica statica con punta meccanica (CPT). I valori di resistenza del terreno non vengono più rilevati con un sistema di aste scorrevoli, che trasmettono i carichi di rottura del terreno ad una cella di carico, bensì con degli estensimetri posti direttamente all'interno della punta. Questi estensimetri, con deformazioni dell'ordine del millimetro relative ai componenti della punta, producono dei segnali elettrici proporzionali alle variazioni di carico e, quindi, alle componenti di resistenza del terreno. I segnali elettrici vengono digitalizzati con convertitori direttamente posti all'interno della punta e vengono memorizzati in un circuito interno. I segnali digitalizzati possono essere inviati direttamente in superficie, dove è presente una apposito PC con funzioni di memorizzazione e salvataggio dati.

La prova CPTU garantisce precisione e linearità delle letture, rilievo dei valori ogni centimetro e raccolta dei valori di sovrappressione U o P_n durante l'infissione. L'infissione della punta, in caso di terreno saturo, produce una variazione della pressione neutrale (U o P_n) inversamente proporzionale alla permeabilità.

Con il piezocono Pagani è, infatti, possibile acquisire durante il movimento continuo di spinta le grandezze Q_c (resistenza di punta) e F_s (attrito laterale) ogni centimetro di profondità. Il sistema acquisisce, inoltre, il valore della U o P_n (pressione idrostatica dei pori), l'angolo di inclinazione della batteria delle aste e il tempo di dissipazione (tempo intercorrente misurato tra la misura della sovrappressione ottenuta in fase di spinta e la pressione misurata in fase di alleggerimento).

Caratteristiche del piezocono Pagani	
Canali di misura	Dimensioni
Resistenza di punta (q_c): 10, 50, 100 MPa Attrito laterale (f_s): 0,5 MPa Pressione nei pori (U): 2,5 MPa Inclinazione: 0 - 40 gradi	Angolo apertura cono: 60 gradi Diametro: 36 mm Sezione di spinta: 10 cmq Superficie laterale: 150 cmq Peso: 3,5 kg Lunghezza: 855 mm

La campagna penetrometrica è stata eseguita nel rispetto delle "Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geognostiche" redatte dall'Associazione Geotecnica Italiana e sulla base della "Raccomandazione ISSMFE" per la standardizzazione delle prove penetrometriche in Europa.

Nello specifico, la prova penetrometrica **CPTU1** è stata spinta fino ai 25,70 m di profondità dal p.c. locale, mentre la **CPTU2** a -28 m, come evidenziato nei report redatti della **GeoServizi S.n.c.** di Pisa (**Allegati C e D**) dove, oltre ai dati, elaborazioni e risultati, troviamo anche una documentazione

fotografica delle indagini e una sovrapposizione tra le due prove. Le coordinate WGS84 dei punti di indagine sono le seguenti:

- **CPTU1** - Longitudine 10.427250 - Latitudine 43.725770,
- **CPTU2** - Longitudine 10.427750 - Latitudine 43.725600.

Lo studio dei dati penetrometrici consente di ricostruire direttamente la litostratigrafia del sottosuolo lungo le verticali indagate.

Nel caso specifico, la modellizzazione è stata eseguita secondo l'abaco di Robertson (1986), riportato in **Figura 4**, e i vari grafici ed elaborati da questo derivati, partendo dalle restituzioni numeriche delle prove penetrometriche.

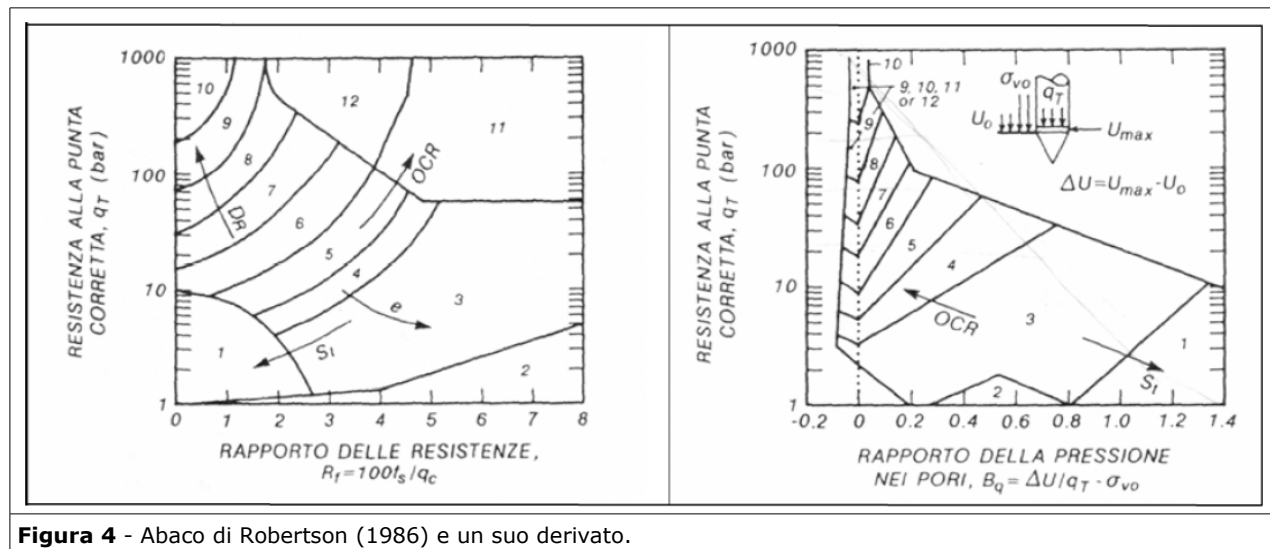


Figura 4 - Abaco di Robertson (1986) e un suo derivato.

In generale, durante l'approfondimento del piezocono nel terreno, se la punta incontra uno strato di argilla, si registra che la U , ovvero la variazione di pressione neutra durante l'infissione, assume valori elevati, spesso inversamente proporzionali alla permeabilità K del materiale attraversato.

Quando la punta incontra uno strato di sabbia, dopo poco la U si dispone su una linea che approssima l'idrostatica. A tale proposito, nella elaborazione delle prove CPTU, si prende come U di riferimento una linea idrostatica che parte dal livello della prima falda freatica e prosegue linearmente; tale assunto può non essere vero qualora le falde incontrate abbiano una pressione neutrale a riposo differente da quella idrostatica (ad esempio, falde confinate, artesiane o in sottopressione). Pertanto si può dire che:

- in argilla la resistenza di punta è bassa (comunemente minore di 1 MPa) e la resistenza laterale è relativamente alta, il che incrementa il valore del rapporto R_f (pertanto tale rapporto aumenta passando da terreni sabbiosi a terreni argillosi);
- in sabbia la resistenza di punta è alta e quella laterale è bassa (il rapporto R_f è basso);
- la U in sabbia si dispone all'incirca secondo l'idrostatica, in argilla è notevolmente più elevata.

Dato che il valore della U dipende, anche, dalle caratteristiche di consolidazione del terreno, in termini di storia tensionale, il confronto fra diversi parametri o combinazioni dei tre parametri rilevati (q_c , f_s e U) permette una classificazione del terreno in questo senso. Inoltre, il rilievo della U garantisce, già nel piezocono, una "correzione" dei valori di resistenza di punta, ovvero una depurazione dall'effetto della presenza di acqua nel terreno durante la penetrazione; ciò trova riscontro nel grafico di Robertson, introducendo una resistenza di punta "corretta" q_t . Il grafico derivato mostra una classificazione del terreno in base a prove CPTU, impiegando il rapporto $B_q = \Delta U / (\sigma_T - \sigma_{1\text{vo}})$ riferito quindi alla U .

Ciò ha dato modo di ottenere una descrizione dettagliata delle verticali indagate, un indice della storia tensionale del deposito attraversato, informazioni sulle caratteristiche di consolidazione del terreno e dati sulle condizioni di falda (**Allegato C**), utilizzando il software CPET-IT della Geologismiki, sia per un'uscita grafica delle CPTU che per una loro elaborazione geotecnica.

Il software, che interpreta i dati di penetrometrie CPTU, è stato sviluppato in collaborazione con Gregg Drilling & Testing Inc., azienda leader in indagini in sito e CPT, e il professor Peter Robertson, coautore del libro di testo completo sulle CPT. Il programma esegue interpretazione in termini di comportamento tipo del terreno (Soil Behavior Type - SBT), di valori geotecnici del sottosuolo e di parametri fisico-meccanici di progetto, utilizzando le attuali correlazioni pubblicate sulla base del riesame globale da parte di Lunne, Robertson e Powell (1997), così come gli ultimi aggiornamenti redatti dal professor Robertson.

Confrontando, poi, le due prove (**Allegato D**) è possibile notare una marcata omogeneità litologica e stratigrafica del sottosuolo investigato, considerato che le verticali sono tendenzialmente sovrapponibili tanto da indicare per l'areale:

- un primo **orizzonte vegetale e/o agrario alterato** di spessore intorno ai 60-80 cm;
- fino a circa i -5 m dal p.c. un'**alternanza di argille e limi a discreta consistenza**;
- dai -5 m ai -20 m circa dal p.c. un'**orizzonte argilloso e argilloso limoso**, inizialmente poco permeabile e poi sempre più impermeabile andando in profondità, **a scarsa consistenza**, molle e plastico, dove si registrano **tra -8 m e -9 m alternanze di limi sabbiosi e argillosi**, saturi, e non si escludono **presenze di argille organiche e torbe in lenti e/o livelli**;
- oltre e fino ai -28 m riprendono **alternanze alluvionali da più granulari**, sabbie e limi, **a più fini**, argille e torbe, **con consistenza e parametri via via migliori**.

5.2 Prospezioni geofisiche

Con l'entrata in vigore delle NTC 2008 la stima della pericolosità sismica viene definita tramite un approccio "sito dipendente" e non più attraverso un criterio "zona dipendente". Per tale motivo si è deciso di eseguire una campagna d'indagine geofisica, oltre alle varie motivazioni legate allo studio in corso e alle richieste della normativa vigente.

Il metodo **MASW** è una tecnica di indagine non invasiva fondata sulla sismica attiva che permette di determinare un profilo di velocità delle onde di taglio S , basandosi sulla misura delle onde superficiali fatta in corrispondenza di diversi sensori (accelerometri o geofoni) posti sulla superficie del suolo. Nel

- Pisa -

Via Trieste n. 25 - C.A.P. 56126

Tel.: 050 52 00 054 - Cell.: 347 64 38 298

C.F.: NGRLSN67B07B950H / P.IVA: 01651150508

caso specifico sono state studiate le onde di Rayleigh. Il metodo MASW consiste in tre fasi: la I fase prevede il calcolo della velocità di fase (o curva di dispersione) apparente sperimentale; nella II fase si calcola la velocità di fase apparente numerica; la III ed ultima fase consiste nell'individuazione del profilo di velocità delle onde di taglio V_s , modificando opportunamente lo spessore h , le velocità delle onde di taglio V_s e di compressione V_p (o in maniera alternativa alle velocità V_p è possibile assegnare il coefficiente di Poisson), la densità di massa ρ degli strati che costituiscono il modello del suolo, fino a raggiungere una sovrapposizione ottimale tra la velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale e la velocità di fase (o curva di dispersione) numerica corrispondente al modello di suolo assegnato.

L'indagine sismica passiva **HVSR** si basa sull'acquisizione del rumore sismico presente sulla superficie terrestre in modo passivo, ovvero senza trasmettere energia al terreno. La tecnica utilizzata per elaborare l'informazione relativa al sottosuolo dal rumore sismico registrato in sito è quella dei rapporti spettrali tra le componenti del moto orizzontale e quella verticale (Horizontal to Vertical Spectral Ratio, HVSR o H/V).

Tale tecnica è riconosciuta come affidabile nel fornire una stima della frequenza fondamentale di risonanza del sottosuolo e nel fornire un importante contributo alla individuazione del profilo di velocità delle V_s in profondità.

Tutto ciò diventa facilmente fattibile quando è conosciuto il profilo litologico del sottosuolo tramite indagini geognostiche di tipo diretto (es. penetrometrie e/o carottaggi), come nel nostro caso.

Relativamente alla campagna geofisica, è stata redatta dalla ditta esecutrice **P3 S.n.c.** di Pisa una relazione tecnica (**Allegato E**), che descrive la strumentazione utilizzata, la metodologia e l'acquisizione delle varie indagini svolte nonché i risultati raggiunti.

Nel suo complesso, l'indagine sismica, relativa alle velocità delle onde S e fornita dall'elaborazione integrata delle due tecniche usate in campagna, evidenzia un'inversione di velocità tra i -5 m e i -9,50 m dal p.c., oltre un progressivo aumento delle velocità con la profondità, come si può notare analizzando la relazione di pertinenza allegata al presente lavoro.

Riguardo alle inversioni di velocità, occorre dire che, in accordo con le indicazioni sperimentali degli indirizzi e criteri per la microzonazione sismica (ICMS del Dip. di Protezione Civile), la presenza di una inversione di velocità lungo un profilo di una successione litologica e stratigrafica si intende realizzata quando si verificano contemporaneamente le seguenti 4 condizioni:

- un terreno rigido che in profondità sovrasta un terreno soffice con un rapporto V_s rig./ V_s sof. superiore a 1,5;
- la differenza tra le V_s dei due terreni è maggiore di 200 m/s;
- lo spessore dello strato a velocità minore è maggiore di 5 m;
- la V_s dello strato più rigido è maggiore o uguale a 500 m/s.

Pertanto, così come descritto sopra, nello specifico profilo V_s di nostro interesse non si può parlare di inversione di velocità.

Inoltre, l'indagine **MASW** indica una velocità media delle onde di taglio nei primi 30 m (**Vs_eq 0-30**) pari a **159 m/sec**. Questo permette, preliminarmente, di definire il sito in esame come appartenente alla **Categoria di sottosuolo D**, in base alle indicazioni delle NTC 2018.

Dal punto di vista topografico, la superficie del sito in esame presenta una configurazione semplice, pianeggiante e, pertanto, riferibile alla **Categoria T1** (classificazione NTC 2018).

Le due registrazioni **HVSR** a stazione singola eseguite nell'area d'interesse mostrano un andamento dello spettro H/V simile e sovrapponibile, indicando un'omogeneità marcata dal punto di vista sismo-stratigrafico del sottosuolo indagato, confermata anche dai dati delle penetrometrie prima riportati.

In termini di amplificazione sismica, i valori di **0,3 Hz** e **1 Hz** (con il picco più elevato a frequenze minori e rapporto H/V tra 7 e 8) possono rappresentare bene le **frequenze di risonanza caratteristiche del sito specifico**. Questi vanno a indicare contrasti di impedenza che si trovano a profondità molto elevate, ben oltre i 50 m dal p.c., che possono corrispondere a passaggi litostratigrafici importanti, come anche quello tra i terreni alluvionali e il substrato roccioso.

5.3 Dati di base

Dei dati di base a nostra disposizione, visualizzati con le ubicazioni in **Figura 2** e le cui elaborazioni sono riportate nell'**Allegato B**, quello maggiormente interessante è il sondaggio a carotaggio continuo **S1**.

La metodologia d'indagine diretta garantita da un sondaggio del genere permette di ricostruire le effettive sequenze litostratigrafiche dei terreni perforati. Nel caso di tale sondaggio approfondito fino a 56 m dal p.c. locale sono state rinvenute successioni deposizionali la cui natura è attribuibile, soprattutto, a facies di pianura alluvionale. È stato possibile, inoltre, riscontrare fasi di ambiente lagunare, con i terreni associati che prendono il noto nome di Pancone (argille compressibili), e fasi palustri con i sedimenti caratterizzati da sostanze organiche e materiali torbosi.

I primi sedimenti continentali di una certa rilevanza e costituiti da livelli di limi e sabbie con frazione fine limo-argillosa, piuttosto consistenti e con colori tipici dell'alterazione, parzialmente ossidati, e probabilmente depositatisi in aree talvolta emerse, si registrano verso la superficie. Poi è sviluppata una vera e propria successione continentale dominata da corpi di canale fluviale, prevalentemente incoerenti, intervallati a sedimenti coesivi di pianura, dove la presenza di materiale organico è indice di ambiente lacustre e palustre. Al di sotto dei depositi continentali, si hanno orizzonti di argille e argille limose con colori grigio azzurri a consistenza plastica (Pancone), riferibili all'apparato deltizio-lagunare dell'Arno di età olocenica, con base intorno ai -20 m di profondità dal p.c. locale. Oltre riprendono sedimenti continentali di natura fluviale più o meno consistenti.

Il geol. M. Redini, oggi responsabile della Direzione Ambiente del Comune pisano, nella redazione dello studio per la nuova viabilità Nord di Pisa correlava i dati del sondaggio **S1** con quelli della prova penetrometrica **CPT4**, oltre a prendere anche in considerazione le CPT **10390** e **10391**, e sintetizzava i risultati con il modello geologico-tecnico del sottopasso Acquedotto Mediceo, previsto a poca distanza dall'areale in esame, nel modo riportato nella **Tabella 1**.

Descrizione	Profondità (m) CPT4	Profondità (m) S1	Spessore (m)	Valore medio Cu kg/cm ²	Valore medio Φ	Valore medio Mv cmq/t	Peso di volume medio γ kg/dmc
Terreno di riporto	da 0,0 m a -0,60 m	da 0,0 m a -0,60 m	0,60				
Terreno vegetale e/o agrario di alterazione	da -0,60 m a -3,00 m	da -0,60 m a -3,00 m	2,40	0,57		22,2	1,85
Argille plastiche compressibili con intercalazioni di sabbie	da -3,00 a -19,40 m	da -3,00 a -19,60 m	16,40-16,60	0,25 0,15	19°	40,0 19,27	1,85 1,776
Argille e argille limose	da -19,40 a -20,80 m	da -19,40 a -20,75 m	1,40-1,35	0,15		50	1,85
Limi sabbiosi e sabbie limose	da -20,80 a -23,60 m	da -20,75 a -23,60 m	2,80-2,85	0,40		28,6	1,85
Sabbie limose con intercalazioni di limi argillosi e argille limose	da -23,60 a -25,0	da -23,60 a -27,70	1,40-4,10		31°	6,9	1,85

Tabella 1 - Modello geologico-tecnico del sottopasso Acquedotto Mediceo della viabilità N di Pisa che collegherà Madonna dell'Acqua con ospedale di Cisanello (dallo studio del geol. M. Redini del 2007).

5.4 Modello geologico-tecnico di natura preliminare

La sintesi di tutti i dati a disposizione, relativi alla campagna investigativa sito specifica e alle informazioni bibliografiche delle varie indagini esistenti nell'intorno del nostro sito, ha permesso di ricostruire il **preliminare MODELLO GEOLOGICO-TECNICO** del sottosuolo d'interesse, evidenziando la presenza di depositi alluvionali misti di origine fluvio-palustre, dove prevalgono componenti limose e sabbiose con orizzonti più fini di natura argillosa fino ad una certa profondità, oltre la quale si registrano depositi argillosi con materiale plastico (di laguna), che tendono a lasciare il posto intorno ai 20 metri di profondità dal p.c. ad alternanze di sedimenti più grossolani e più fini a consistenza decisamente maggiore. La litologia del sottosuolo specifico viene così a presentare:

- in superficie un primo strato spesso da 60 a 80 cm circa di **terreno vegetale e/o agrario alterato** a componente limosa, argillosa e sabbiosa;
- al di sotto e fino ai 4,50/5 m di profondità abbiamo un **terreno misto (argille e limi)** mediamente consistente (peso di volume naturale **Y** poco superiore ai 18 kN/mc, coesione non drenata **Cu** variabile da 45 a 65 kN/mq, modulo edometrico **M** intorno a 5 MPa);
- da -4,50/5 m fino ai -8 m si registrano **alternanze di sedimenti argillosi e limosi** a consistenza mediocre (peso di volume naturale **Y** poco superiore ai 17 kN/mc, coesione non drenata **Cu** di poco superiore a 25 kN/mq, modulo edometrico **M** di 1/2 MPa);
- tra 8 m e 9 m dal p.c. si hanno **sedimenti limo-sabbiosi e sabbio-limosi con esili orizzonti più fini** (peso di volume naturale **Y** intorno ai 18 kN/mc, coesione non drenata **Cu** intorno 80 kN/mq, resistenza al taglio Φ mediamente di 30 gradi);
- tra -9 m e -20/22 m si rinvencono **argille e argille limose con torbe**, plastiche e compressibili, del tutto impermeabili (peso di volume naturale **Y** intorno ai 17 kN/mc, coesione non drenata **Cu** tra 15 e 20 kN/mq, modulo edometrico **M** intorno a 1 MPa);
- tra i -20/22 m fino ai -28/30 m, con tendenza a proseguire in profondità ben oltre i 30-35 m, **alternanze di sabbie e sabbie limose con limi e limi sabbiosi talvolta argillosi** a discreta

- Pisa -

Via Trieste n. 25 - C.A.P. 56126

Tel.: 050 52 00 054 - Cell.: 347 64 38 298

C.F.: NGRLSN67B07B950H / P.IVA: 01651150508

consistenza (peso di volume naturale γ superiore ai 18 kN/mc, coesione non drenata C_u superiore 50 kN/mq, resistenza al taglio ϕ mediamente di 30 gradi).

Le prime sabbie sede di acquiferi in pressione si ipotizzano intorno ai 40 m di profondità, mentre sui -70 m è possibile avere un deposito granulare di una certa rilevanza, considerati i contrasti di impedenza riscontrati con i sondaggi sismici verticali HVSR.

E', comunque, evidente un progressivo incremento della resistenza geotecnica con la profondità, anche in merito all'orizzonte spesso e compreso tra i -4,5/5 m e i -20/22 m di profondità, corrispondente alle argille compressibili, chiamate anche Pancone, ben conosciute nel sottosuolo della Pianura Pisana.

Dal **punto di vista idrogeologico**, l'acquifero che ci interessa maggiormente è quello freatico, talora semi-freatico. In generale, esso risulta costituito da una complessa e discontinua serie di lenti e corpi idrici in collegamento idraulico tra di loro, lateralmente e verticalmente. A causa delle sue eteropie, il sistema superficiale può essere assunto come un unico orizzonte acquifero e si può incontrare sempre alla stessa profondità media dal p.c. La sua copertura semi-permeabile garantisce la ricarica diretta da parte delle precipitazioni che tendono ad infiltrarsi verticalmente nel terreno, senza poi circolare in maniera significativa. La sua permeabilità e trasmissibilità sono modeste.

Un dato teorico di permeabilità di tale acquifero superficiale è possibile desumerlo dal quadro conoscitivo che ci indica un valore dell'ordine di $10E-5$ m/s.

L'acquifero freatico si ammette continuo su tutta l'area pisana e, a maggior ragione, sull'area specifico con una potenza dell'ordine di 5-8/9 m e coincidente con l'orizzonte dei limi e limi argillosi superficiali.

Il tetto dell'acquifero freatico tende ad alzarsi sensibilmente verso la superficie terrestre, in occasione di intense precipitazioni, con valori che praticamente raggiungono il piano campagna. Verso la fine dell'estate, quando il periodo siccitoso si è protratto nel tempo, la superficie freatica si trova invece nella situazione più depressa.

Dal **punto di vista sismico**, il profilo verticale delle velocità delle onde S, emerso con la stesa MASW e integrato con i dati H/V, oltre ad essere vincolato dai dati litologici e stratigrafici delle varie verticali a disposizione, evidenzia un progressivo aumento con la profondità, a meno di un'inversione più o meno superficiale, con un primo salto intorno oltre i 20 m dal p.c. e un secondo intorno ai 70 m. I risultati indicano una velocità media delle onde di taglio nei primi 30 m (V_{s_eq} 0-30) pari a 159 m/sec, con valori che tendono a salire leggermente se si pensa ad un piano fondale posto più in profondità, seppur sempre superficialmente. Il grafico del rapporto H/V presenta due picchi, su frequenze basse rispettivamente di 0,3 Hz e 1 Hz, tali da poterle considerare frequenze fondamentali di sito: queste stanno ad indicare contrasti di impedenza piuttosto profondi, ben oltre i 50 m dal p.c.

6. Ricognizione delle norme di salvaguardia e dei vincoli

Le vigenti normative in materia di pericolosità e rischio sono, oggi, dettate essenzialmente dal Comitato Istituzionale Integrato del Distretto idrografico dell'Appennino Settentrionale e dalla Regione Toscana.

- Pisa -

Via Trieste n. 25 - C.A.P. 56126

Tel.: 050 52 00 054 - Cell.: 347 64 38 298

C.F.: NGRLSN67B07B950H / P.IVA: 01651150508

6.1 Distretto Appennino Settentrionale - PGRA

Con le **delibere** del **Comitato Istituzionale Integrato n. 231 e n. 232 del 17 dicembre 2015** è stato adottato il Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (**PGRA**) del **Distretto idrografico dell'Appennino Settentrionale**, nel quale ricade il bacino del fiume Arno, con apposizione delle misure di salvaguardia. Successivamente con **delibera** dello stesso **Comitato Istituzionale n. 235 del 3 marzo 2016** il Piano è stato definitivamente approvato.

Il PGRA rappresenta un forte elemento di innovazione in quanto sostituisce a tutti gli effetti, per ciò che riguarda la pericolosità da alluvione (con una nuova cartografia e nuove norme, nonché la mappa del rischio da alluvioni redatta ai sensi del **D.Lgs. 49/2010**), il PAI (Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico) dell'Arno. Il lavoro svolto per l'applicazione dei disposti della direttiva nel bacino, ha infatti permesso di aggiornare e modernizzare il quadro conoscitivo esistente, renderlo coerente con i requisiti richiesti dalla Commissione europea (**Direttiva "acqua" 2000/60/CE** e **Direttiva "alluvioni" 2007/60/CE**) e, quindi, di giungere ad una semplificazione delle norme e delle procedure in materia di pericolosità e rischio di alluvioni. La disciplina di PGRA va quindi a subentrare alle disposizioni previste dalle norme dei PAI con particolare riguardo ai disposti del Capo I - Pericolosità Idraulica.

Le misure del PGRA seguono quattro concetti fondamentali:

- quadro di pericolosità da alluvione condiviso e con modalità definite per il suo aggiornamento e sviluppo;
- direttive precise per la predisposizione degli strumenti urbanistici comunali con indicazione di cosa è opportuno prevedere e non prevedere nelle aree a pericolosità, lasciando al Comune il diritto di scelta finale;
- norme rigorose tese ad evitare l'aumento del rischio per gli insediamenti esistenti e tese a far sì che, in ogni caso, le previsioni siano eventualmente realizzate in condizioni tali da conoscere e gestire il rischio idraulico;
- competenza dell'Autorità per ciò che riguarda naturalmente l'aggiornamento del quadro conoscitivo del bacino, con rilascio di pareri solo per gli interventi del PGRA e per le opere pubbliche più importanti quali ospedali, scuole ed infrastrutture primarie, senza influire sulle attività edilizie la cui competenza è demandata, come è logico che sia, alla azione comunale.

In questa impostazione il ruolo delle Autorità di bacino, come quello delle regioni, diventa pertanto maggiormente orientato ad approfondire i temi del quadro conoscitivo e a fornire agli enti locali gli indirizzi in base ai quali poi gli stessi enti attuano, in piena autonomia, le proprie scelte. La norma principale su cui è impostata tutta la disciplina di piano è che, sia nella aree a pericolosità elevata che media, qualsiasi intervento edificatorio deve eventualmente essere realizzato in maniera tale da non provocare dei rischi per i beni esistenti e in condizioni tali da poter gestire il rischio a cui è soggetto. Nelle norme si parla, infatti, di "gestione" e non di "annullamento" del rischio. E' un cambio considerevole di impostazione poiché teoricamente consente anche di mantenere un rischio residuo, alla condizione che questo sia conosciuto e ben percepito dai soggetti in gioco, e quindi gestito

responsabilmente al momento dell'evento. La disciplina si sviluppa quindi con direttive tese a considerare l'opportunità o meno di certe scelte di tipo urbanistico. Le direttive sono basate sull'analisi dei fatti accaduti negli ultimi anni, dei morti e dei danni che abbiamo subito; direttive che cercano di impedirne il ripetersi. Tuttavia è poi sempre l'ente locale che decide, come è giusto che sia e come stabilisce la legge. Il Comune può seguire le proprie scelte ma, in ogni caso, dovrà rispettare la norma principale, ovvero che le eventuali realizzazioni non devono portare rischio agli altri e devono gestire il proprio.

Per quanto ci riguarda, le mappe di pericolosità e rischio da alluvioni del PGRA del bacino dell'Arno, indicano che il sito d'interesse specifico non risulta soggetto alla disciplina relativa a pericolosità da alluvione costiera, ad aree di contesto fluviale e ad aree destinate alla realizzazione delle misure di protezione.

6.1.1 Pericolosità da alluvione fluviale

L'area di interesse ricade all'interno della **classe di pericolosità da alluvione media (P2)**, relativa ad aree inondabili da eventi con tempo di ritorno superiore a 30 anni e inferiore/uguale a 200 anni (**Tavola 8**).

Gli articoli 9 e 10 de La disciplina di piano dell'unità di gestione Arno, di seguito riportati integralmente, si riferiscono specificamente alle **aree P2**:

Art. 9 - Aree a pericolosità da alluvione media (P2) – Norme

1. Nelle aree P2 per le finalità di cui all'art. 1 sono da consentire gli interventi che possano essere realizzati in condizioni di gestione del rischio idraulico, con riferimento agli obiettivi di cui all'art. 1 comma 4, fatto salvo quanto previsto ai commi seguenti del presente articolo e al successivo art. 10.

2. Nelle aree P2 per le finalità di cui all'art. 1, l'Autorità di bacino si esprime sugli interventi di seguito elencati, in merito alla compatibilità degli stessi con il raggiungimento degli obiettivi di PGRA delle U.O.M. Arno, Toscana Nord, Toscana Costa e Ombrone:

a) misure di protezione previste dal PGRA delle U.O.M. Arno, Toscana Nord, Toscana Costa e Ombrone e misure previste dal PGA;

b) interventi di sistemazione idraulica e geomorfologica, ad eccezione delle manutenzioni ordinarie, straordinarie e dei ripristini;

c) interventi di ampliamento e ristrutturazione delle opere pubbliche o di interesse pubblico esistenti, riferite ai servizi essenziali, e della rete infrastrutturale primaria, nonché degli impianti di cui all'allegato VIII alla parte seconda del decreto legislativo n. 152/2006 dichiarati di interesse pubblico;

d) nuovi interventi relativi alle opere pubbliche o di interesse pubblico riferite ai servizi essenziali e alla rete infrastrutturale primaria;

e) interventi di ampliamento, di ristrutturazione e nuovi impianti di potabilizzazione e depurazione compresi i servizi a rete e le infrastrutture a questi connessi nonché gli impianti dichiarati di interesse pubblico di cui all'allegato VIII alla parte seconda del decreto legislativo n. 152/2006, compresi i servizi a rete e le infrastrutture a questi connessi.

3. Le Regioni disciplinano le condizioni di gestione del rischio idraulico per la realizzazione degli interventi nelle aree P2.

Art. 10 - Aree a pericolosità da alluvione media (P2) – Indirizzi per gli strumenti governo del territorio

1. Fermo quanto previsto all'art. 9 e all'art. 14 comma 8, nelle aree P2 per le finalità di cui all'art. 1 le Regioni, le Province e i Comuni, nell'ambito dei propri strumenti di governo del territorio si attengono ai seguenti indirizzi:

f) sono da privilegiare le trasformazioni urbanistiche tese al recupero della funzionalità idraulica;

g) le previsioni di nuova edificazione sono da subordinare al rispetto delle condizioni di gestione del rischio idraulico;

h) sono da evitare le previsioni che comportano la realizzazione di sottopassi, se non diversamente localizzabili;

6.1.2 Pericolosità derivata da fenomeni di flash flood

La mappa della pericolosità derivata da fenomeni di flash flood è ottenuta attraverso studi di tipo statistico e modellistico alla scala di elaborazione 1:10.000. La rappresentazione dei poligoni risultanti è su CTR 1:10.000 della Regione Toscana e della Regione Umbria, con errore di rappresentazione di scala di +/- 10 m (errore nominale alla scala 1:10.000).

Le mappe della propensione al verificarsi dei fenomeni tipo flash flood vengono periodicamente rielaborate dalle varie Autorità di bacino interessate in funzione delle modifiche del quadro conoscitivo di base (aggiornamento serie storiche, revisione modellazione idrologica, ulteriori approfondimenti della ricerca scientifica).

In tale mappa viene rappresentata la distribuzione nel bacino della propensione al verificarsi di eventi intensi e concentrati; la rappresentazione è in quattro classi a propensione crescente.

L'area di interesse specifico **non ricade all'interno di alcuna delle classi di pericolosità**, come mostra la **Tavola 9**.

6.1.3 Rischio di alluvione

La mappa del rischio di alluvioni definisce la distribuzione del rischio ai sensi di quanto previsto dal **D.Lgs n. 49/2010**. Le aree a rischio sono rappresentate in quattro classi secondo la seguente gradazione: R4, rischio molto elevato; R3, rischio elevato; R2, rischio medio; R1, rischio basso.

La rappresentazione della mappa del rischio è alla scala 1:10.000 e deriva dalla sovrapposizione della mappa di pericolosità da alluvione con le classi di danno potenziale. La rappresentazione su mappa del rischio può presentare, oltre agli errori di scala derivanti dai criteri di elaborazione delle mappe di pericolosità, anche errori connessi con la completezza e l'aggiornamento dei database utilizzati (vedi relazione di piano).

L'area di interesse ricade attualmente all'interno della **classe di rischio medio (R2)**, come da **Tavola 10**. Nella disciplina di piano non vi è alcun articolo normativo specifico.

Il rischio R rappresenta il valore atteso delle perdite umane, dei feriti, dei danni alle proprietà, ai beni ambientali, ai beni culturali e delle perturbazioni alle attività economiche dovuto al fenomeno naturale considerato di assegnata intensità. Ai fini applicativi si definisce il valore R del rischio come il prodotto tra pericolosità, vulnerabilità ed entità del bene considerato.

Considerato ciò, visto il contesto in cui si inserisce l'area in studio ed esaminato il **Piano Particolareggiato** in progetto, il rischio atteso e legato ad un eventuale alluvione è destinato a salire e dalle informazioni che possiamo avere raggiungere il livello R3, ovvero un rischio elevato, come poi

risulta inquadrata l'intera area de La Fontina e Praticelli, a meno di opere e accorgimenti atti ad abbatterlo almeno al livello medio R2 come accenneremo in seguito.

6.1.4 Fase transitoria ai sensi della D.C.I.I. 17 dicembre 2015, n. 232

Le mappe relative alla pericolosità da alluvione contenute nel PGRA sostituiscono, in coerenza con l'art. 32 delle Norme di Attuazione del PAI, quelle del PAI con specifico riferimento alla pericolosità idraulica, costituendone l'aggiornamento ai sensi della Direttiva 2007/60/CE, secondo il comma 1 dell'art. 1 della Delibera del Comitato Istituzionale Integrato n. 232 del 17 dicembre 2016.

In base alla stessa delibera, con l'art. 4, la Regione Toscana entro 180 giorni dal 17 dicembre 2015 avrebbe dovuto provvedere ad emanare gli atti diretti a dare applicazione alle disposizioni del piano nel settore urbanistico. Decorso tale termine, infatti, le disposizioni della Disciplina del PGRA hanno carattere immediatamente vincolante, in coerenza con la normativa regionale vigente, per le amministrazioni, gli enti pubblici nonché per i soggetti privati nel territorio delle unità di gestione dell'Arno, Toscana Nord, Toscana Costa e Ombrone.

6.2 Autorità di Bacino del fiume Arno - PRRI e PAI

La cartografia del Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino del fiume Arno rimane consultabile all'indirizzo <http://www.arno.autoritadibacino.it>, relativamente al Piano stralcio Riduzione Rischio Idraulico (PRRI) e alla parte di Piano stralcio Assetto Idrogeologico (PAI) riguardante esclusivamente la pericolosità da frana e da fenomeni geomorfologici di versante (perimetrazioni e normativa che non interessano il sito specifico vista anche la sua conformazione morfologica).

Come scritto nelle pagine precedenti, con l'adozione e l'approvazione del PGRA è stato superato il PAI, per la sua parte idraulica, sia dal punto di vista cartografico che da quello della disciplina della pericolosità da alluvioni.

6.2.1 Piano Stralcio Riduzione Rischio Idraulico (PRRI)

Nel Piano Stralcio relativo alla Riduzione del Rischio Idraulico (PRRI), approvato con D.P.C.M. 5 novembre 1999, il sito in esame si trova inquadrato all'interno di **aree interessate da inondazioni eccezionali**, come viene evidenziato nella Carta guida delle aree allagate redatta sulla base degli eventi alluvionali significativi 1966-1999 (Stralcio 61).

Il medesimo Piano esclude, inoltre, che la zona d'interesse ricada all'interno di aree di pertinenza fluviale dell'Arno e dei suoi affluenti (Stralcio 61) e che appartenga a perimetrazioni riguardanti interventi strutturali di qualsiasi genere, come del resto ricordavamo precedentemente con il PGRA.

6.3 La normativa idraulica della Regione Toscana

È del 1 ottobre 2018 l'entrata in vigore della L.R. 24 luglio 2018, n. 41, normativa toscana sulla pericolosità idraulica e sul suo rischio.

Con questa legge la Regione Toscana va ad abrogare la vecchia e discussa L.R. 21/2012 che aveva introdotto limiti assai rigidi per tutta una serie di opere ricadenti all'interno delle perimetrazioni a pericolosità idraulica molto elevata, siglate dai PAI con PI4 e dai PGRA P3.

Oltre al fatto di disciplinare le zone soggette a demanio idrico e tutelare le aree dei corsi idrici e quelle adiacenti, si chiude finalmente un ciclo legato alla nota "Direttiva Alluvioni" del 2010, disciplina che ha revisionato profondamente gli strumenti urbanistici e di pianificazione territoriale della Toscana, anche se questi nel loro complesso presentavano già avanzati studi di valutazione del rischio idraulico, proprio per le oggettive caratteristiche di fragilità del territorio.

Sono state inserite, infine, opportune clausole transitorie per consentire l'applicazione e l'uso degli attuali strumenti urbanistici comunali (PS, RU e PO) non ancora aggiornati al D.Lgs 49/2010, in particolare per raccordare i previgenti quattro livelli di pericolosità idraulica con i tre nuovi livelli introdotti appunto dalla Direttiva Alluvioni. In tal modo si vuol evitare i rischi di applicazioni interpretative nel passaggio dal vecchio al nuovo regime di tutela della sicurezza idraulica.

Le nuove disposizioni regionali hanno, quindi, l'obiettivo di ridurre le conseguenze negative, derivanti dalle alluvioni, per la salute umana, l'ambiente, il patrimonio culturale e le attività economiche, nonché mitigare i fenomeni di esondazione e dissesto idrogeologico, disciplinare la gestione del rischio di alluvioni in relazione alle trasformazioni del territorio e tutelare i corsi d'acqua.

Considerato che il sito di nostro interesse presenta problematiche e/o criticità di natura idraulica, come evidenziano le mappature da PGRA del Distretto Appennino Settentrionale, il sito in esame risulta soggetto alla disciplina della L.R. 24 luglio 2018, n. 41.

Quelle che seguono sono, nel dettaglio e mirate al **Piano Particolareggiato** in esame, le basi delle norme contenute nella L.R. 41/2018 sopracitata:

CAPO III - Interventi edilizi all'interno del perimetro del territorio urbanizzato

Art. 11 - Interventi di nuova costruzione in aree a pericolosità per alluvioni frequenti o poco frequenti

.....

2. Fermo restando quanto disposto dagli articoli 10, 12 e 13, nelle aree a pericolosità per alluvioni poco frequenti, indipendentemente dalla magnitudo idraulica, possono essere realizzati interventi di nuova costruzione a condizione che sia realizzata almeno una delle opere di cui all'articolo 8, comma 1, lettere a), b) o c).

3. Nelle aree a pericolosità per alluvioni frequenti, indipendentemente dalla magnitudo idraulica, possono essere realizzati volumi interrati a condizione che siano realizzate le opere idrauliche di cui all'articolo 8, comma 1, lettera a).

4. Nelle aree a pericolosità per alluvioni poco frequenti, caratterizzate da magnitudo idraulica severa o molto severa, possono essere realizzati volumi interrati a condizione che siano realizzate le opere idrauliche di cui all'articolo 8, comma 1, lettera a), o le opere idrauliche che riducono gli allagamenti per eventi poco frequenti, conseguendo almeno una classe di magnitudo idraulica moderata e a condizione che non sia superato il rischio medio R2.

5. Nelle aree a pericolosità per alluvioni poco frequenti, caratterizzate da magnitudo idraulica moderata, possono essere realizzati volumi interrati a condizione che non sia superato il rischio medio R2.

Art. 13 - Infrastrutture lineari o a rete

.....

2. Nuove infrastrutture a sviluppo lineare e relative pertinenze possono essere realizzate nelle aree a pericolosità per alluvioni poco frequenti, indipendentemente dalla magnitudo idraulica, a condizione che sia assicurato il non

- Pisa -

Via Trieste n. 25 - C.A.P. 56126

Tel.: 050 52 00 054 - Cell.: 347 64 38 298

C.F.: NGRLSN67B07B950H / P.IVA: 01651150508

aggravio delle condizioni di rischio in altre aree, che non sia superato il rischio medio R2 e che siano previste le misure preventive atte a regolarne l'utilizzo in caso di eventi alluvionali.

3. L'adeguamento e l'ampliamento di infrastrutture a sviluppo lineare esistenti e delle relative pertinenze può essere realizzato nelle aree a pericolosità per alluvioni frequenti o poco frequenti, indipendentemente dalla magnitudo idraulica, a condizione che sia assicurato il non aggravio delle condizioni di rischio in altre aree, che non sia superato il rischio medio R2 e che siano previste le misure preventive atte a regolarne l'utilizzo in caso di eventi alluvionali.

4. Nelle aree a pericolosità per alluvioni frequenti o poco frequenti, indipendentemente dalla magnitudo idraulica, gli interventi di seguito indicati possono essere realizzati alle condizioni stabilite:

a) itinerari ciclopedonali, a condizione che sia assicurato il non aggravio delle condizioni di rischio e che siano previste le misure preventive atte a regolarne l'utilizzo in caso di eventi alluvionali;

b) parcheggi in superficie, a condizione che sia assicurato il non aggravio delle condizioni di rischio in altre aree, che non sia superato il rischio medio R2 e che siano previste le misure preventive atte a regolarne l'utilizzo in caso di eventi alluvionali;

c) nuove infrastrutture a rete per la distribuzione della risorsa idrica, il convogliamento degli scarichi idrici, il trasporto di energia e gas naturali nonché l'adeguamento l'ampliamento di quelle esistenti, a condizione che sia assicurato il non aggravio delle condizioni di rischio;

d) impianti e relative opere per la produzione di energia da fonti rinnovabili, nonché l'adeguamento e l'ampliamento di quelli esistenti, a condizione che sia realizzata almeno una delle opere di cui all'articolo 8, comma 1, lettere a), b) o c);

e) impianti e relative opere per il trattamento della risorsa idrica e per la depurazione, a condizione che sia realizzata almeno una delle opere di cui all'articolo 8, comma 1, lettere a), b) o c);

f) adeguamento e ampliamento degli impianti e delle relative opere di cui alla lettera e), a condizione che sia realizzata almeno una delle opere o interventi di cui all'articolo 8, comma 1, lettere a), b), c) o d).

.....

6. Nelle aree a pericolosità per alluvioni poco frequenti, indipendentemente dalla magnitudo idraulica, possono essere realizzati sottopassi, solo se non diversamente localizzabili, a condizione che sia assicurato il non aggravio delle condizioni di rischio in altre aree, che non sia superato il rischio medio R2 e che siano previste le misure preventive atte a regolarne l'utilizzo in caso di eventi alluvionali.

Art. 14 - Interventi nelle aree presidiate da sistemi arginali

1. Fermo restando quanto stabilito all'articolo 3, nelle aree presidiate da sistemi arginali per il contenimento delle alluvioni di cui all'articolo 2, comma 1, lettera s), per gli interventi di nuova costruzione sono previste misure per la gestione del rischio di alluvioni nell'ambito del piano di protezione civile comunale. A tal fine il comune, entro centottanta giorni dal rilascio del titolo abilitativo, aggiorna il relativo piano e lo trasmette alla struttura regionale competente.

Relativamente al fosso Sarragone, che corre lungo la via dei Condotti, come definito in precedenza, vige il seguente articolo della presente legge regionale:

CAPO I - Disposizioni generali

Art. 3 - Tutela dei corsi d'acqua

1. Non sono consentiti nuove costruzioni, nuovi manufatti di qualsiasi natura o trasformazioni morfologiche negli alvei, nelle golene, sugli argini e nelle aree comprendenti le due fasce di larghezza di dieci metri dal piede esterno

- Pisa -

Via Trieste n. 25 - C.A.P. 56126

Tel.: 050 52 00 054 - Cell.: 347 64 38 298

C.F.: NGRLSN67B07B950H / P.IVA: 01651150508

dell'argine o, in mancanza, dal ciglio di sponda dei corsi d'acqua del reticolo idrografico di cui all'articolo 22, comma 2, lettera e), della legge regionale 27 dicembre 2012, n. 79 (Nuova disciplina in materia di consorzi di bonifica. Modifiche alla l.r. 69/2008 e alla l.r. 91/1998. Abrogazione della l.r. 34/1994), fatto salvo quanto previsto ai commi 2, 3 e 4.

2. Negli alvei, nelle golene, sugli argini e nelle aree comprendenti le due fasce di larghezza di dieci metri dal piede esterno dell'argine o, in mancanza, dal ciglio di sponda dei corsi d'acqua del reticolo idrografico di cui all'articolo 22, comma 2, lettera e), della l.r. 79/2012, nel rispetto della normativa statale e regionale di riferimento e delle condizioni di cui al comma 5, sono consentiti i seguenti interventi:

a) interventi di natura idraulica, quali in particolare:

- 1) trasformazioni morfologiche degli alvei e delle golene;
- 2) impermeabilizzazione del fondo degli alvei;
- 3) rimodellazione della sezione dell'alveo;
- 4) nuove inalveazioni o rettificazioni dell'alveo.

b) reti dei servizi essenziali e opere sovrappassanti o sottopassanti il corso d'acqua;

c) opere finalizzate alla tutela del corso d'acqua e dei corpi idrici sottesi;

d) opere connesse alle concessioni rilasciate ai sensi del regio decreto 11 dicembre 1933, n. 1775 (Approvazione del testo unico delle disposizioni di legge sulle acque e sugli impianti elettrici);

e) interventi volti a garantire la fruibilità pubblica;

f) itinerari ciclopeditoni;

g) opere di adduzione e restituzione idrica;

h) interventi di riqualificazione ambientale.

.....

5. Gli interventi di cui ai commi 2, 3 e 4 sono consentiti, previa autorizzazione della struttura regionale competente, che verifica la compatibilità idraulica nel rispetto delle seguenti condizioni:

a) sia assicurato il miglioramento o la non alterazione del buon regime delle acque;

b) non interferiscano con esigenze di regimazione idraulica, accessibilità e manutenzione del corso d'acqua e siano compatibili con la presenza di opere idrauliche;

c) non interferiscano con la stabilità del fondo e delle sponde;

d) non vi sia aggravio del rischio in altre aree derivante dalla realizzazione dell'intervento;

e) non vi sia aggravio del rischio per le persone e per l'immobile oggetto dell'intervento;

f) il patrimonio edilizio esistente di cui al comma 3 sia inserito nel piano di protezione civile comunale al fine di prevenire i danni in caso di evento alluvionale.

6. Il rispetto delle condizioni di cui al comma 5 costituisce elemento di verifica della compatibilità idraulica ai fini del rilascio dell'autorizzazione di cui al medesimo comma 5. L'autorizzazione idraulica è rilasciata dalla struttura regionale competente con le modalità definite nel regolamento di cui all'articolo 5, comma 1, lettera e), della legge regionale 28 dicembre 2015, n. 80 (Norme in materia di difesa del suolo, tutela delle risorse idriche e tutela della

costa e degli abitati costieri). L'autorizzazione è rilasciata entro quarantacinque giorni dal ricevimento della domanda.

.....

8. Gli interventi di cui al comma 2, lettere e) ed f), sono realizzati, nel rispetto delle condizioni di cui al comma 5 e a condizione che siano adottate nei piani comunali di protezione civile misure per regolarne l'utilizzo in caso di eventi alluvionali.

9. Le disposizioni di cui al presente articolo non si applicano alle opere, interventi e manufatti privi di rilevanza edilizia di cui all'articolo 137 della legge regionale 10 novembre 2014, n. 65 (Norme per il governo del territorio), previa verifica di compatibilità idraulica. La verifica è effettuata dalla struttura regionale competente nell'ambito del rilascio della concessione demaniale ai sensi del regolamento emanato con decreto del Presidente della Giunta regionale 12 agosto 2016, n. 60/R (Regolamento in attuazione dell'articolo 5 della legge regionale 28 dicembre 2015 n. 80 "Norme in materia di difesa del suolo, tutela delle risorse idriche e tutela della costa e degli abitati costieri" recante disciplina del rilascio delle concessioni per l'utilizzo del demanio idrico e criteri per la determinazione dei canoni).

6.4 Valutazione dei vincoli

Occorre sottolineare che il sito in esame ricade all'interno di un'area vincolata per la Protezione delle bellezze naturali (D.Lgs. 42/2004) per il notevole interesse pubblico delle zone adiacenti all'Acquedotto Mediceo, sito nei comuni di Pisa e San Giuliano Terme (D.M. 14/11/1962).

7. Condizioni di pericolosità e vulnerabilità secondo gli SU vigenti

Gli elaborati relativi alla Pericolosità, che sono stati redatti in base al D.P.G.R. della Toscana n. 53/R del 2011, redatti a supporto del POC del Comune di San Giuliano Terme, diventato efficace dal 6 febbraio 2020, inquadrano il sito oggetto di studio nel seguente modo:

- in un'area a **Classe G.3 di Pericolosità geologica (Tavola 11)**;
- in un'area a **Classe I.3 di Pericolosità idraulica (Tavola 12)**;
- in un'area a **Classe S.3 di Pericolosità sismica (Tavola 13)**.

Relativamente alla **Pericolosità geomorfologica elevata G.3**, la relazione tecnica a supporto del POC afferma che in questa classe rientrano, oltre alle altre tipologie di situazioni, i terreni alluvionali soffici, tra cui i sedimenti golenali, i paleoalvei, i sedimenti di retroduna e i terreni argillosi organici, e le aree di fondovalle subsidenti, registrate sulla base delle misure interferometriche satellitari ("persistent scattered" ERS, ENVISAT e CSK) del moto del suolo rese pubbliche sul Geoportale Nazionale.

In materia **idrologico-idraulica**, il territorio comunale è stato classificato in base ai recenti studi condotti dall'ing. J. Taccini, che hanno approfondito il livello di conoscenza delle fragilità idrauliche del territorio in quelle zone in cui il quadro conoscitivo era del tutto assente, o quantomeno insufficiente, al fine di fornire informazioni utili alla pianificazione urbanistica.

Relativamente al caso specifico, la relazione geologico-tecnica di supporto al POC definisce la **Classe I.3 di Pericolosità idraulica a grado elevato** e vi inserisce le aree fragili per eventi di esondazione con tempo di ritorno compreso tra 30 e 200 anni.

- Pisa -

Via Trieste n. 25 - C.A.P. 56126

Tel.: 050 52 00 054 - Cell.: 347 64 38 298

C.F.: NGRLSN67B07B950H / P.IVA: 01651150508

La **Tabella 2** che segue, sempre tratta dalla relazione citata, compara le classi come da 53/R con quelle derivanti dalle definizioni di PGRA.

Detto ciò, occorre ricordare che alle **classi di pericolosità idraulica** (elevata e molto elevata, talvolta media) vengono associati dei battenti idraulici, ovvero dei valori soglia, modellati su un determinato tempo di ritorno e approvati dalle Autorità competenti.

Tempi di ricorrenza	D.P.G.R.53/R	PGRA
TR ≤ 30 anni.	Pericolosità idraulica molto elevata (I.4)	Pericolosità da alluvione elevata (P3)
30 < TR ≤ 200 anni	Pericolosità idraulica elevata (I.3)	Pericolosità da alluvione media (P2)
200 < TR ≤ 500 anni	Pericolosità idraulica media (I.2)	Pericolosità da alluvione bassa (P1)
500 anni < TR	Pericolosità idraulica bassa (I.1)	Non definita al di fuori del contesto di fondovalle

Tabella 2 - Comparazione tra la normativa del 53/R e quella di PGRA per le classi di pericolosità idraulica.

Nella **Figura 5**, estratto degli studi idraulici dell'ing. J. Taccini redatti a supporto del POC, sono cartografati tali **battenti idraulici** che risultano **inferiori a 30 cm** (corrispondenza al color ciano), a meno delle strisce colorate in blu e coincidenti con le scoline campestri, dove il battente è compreso tra 30 cm e 60 cm. Tali battenti rappresentano dei valori soglia modellati su un tempo di ritorno duecentennale e riferiti al piano campagna, oltre i quali si ritiene di stare in sicurezza idraulica, anche se per edificazioni destinate a residenza è bene aggiungere sempre un franco almeno pari a 20 cm.

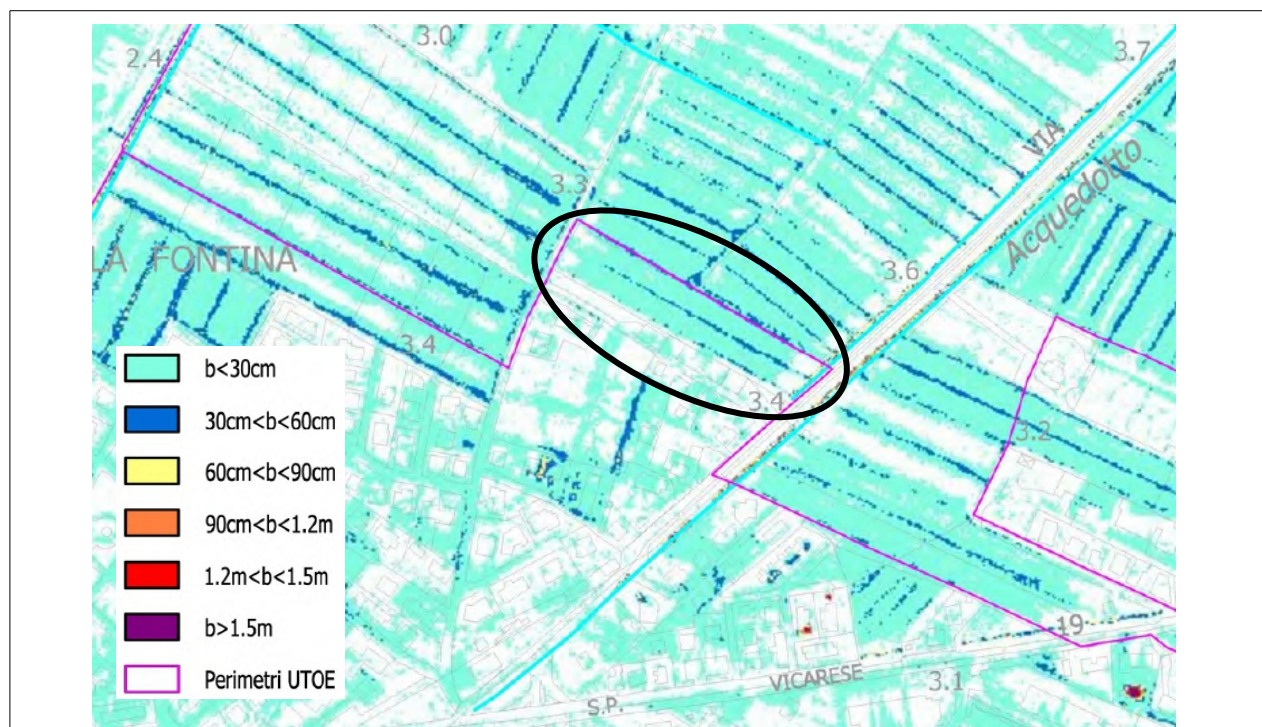


Figura 5 - Battenti idraulici dagli elaborati tecnici dell'ing. J. Taccini (studio per il POC di S. Giuliano T). Fuori scala.

A questi, il tecnico ha associato anche le velocità della corrente di esondazione. Interrogando i GRID messi a disposizione dall'ing. J. Taccini e combinando il battente con la velocità della corrente, associata allo scenario relativo, si può valutare la **magnitudo idraulica**, indispensabile per la valutazione del rischio dell'area e la conseguente sua gestione: nello specifico risulta **MODERATA - M1**.

- Pisa -

Via Trieste n. 25 - C.A.P. 56126

Tel.: 050 52 00 054 - Cell.: 347 64 38 298

C.F.: NGRLSN67B07B950H / P.IVA: 01651150508

Relativamente all'**aspetto sismico**, l'analisi e la valutazione integrata di tutte le informazioni disponibili durante la redazione del POC hanno portato all'elaborazione della Carta MOPS (Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica), nella quale si è valutato per il territorio sangiulianese gli effetti locali o di sito ai fini della riduzione del rischio sismico. Tali studi di Microzonazione Sismica (MS) di livello 1 individuano e caratterizzano il nostro sito come una zona stabile suscettibile di amplificazioni locali (**ZONA 5 - Depositi alluvionali attuali e recenti**), come da **Tavola 14**.

All'interno delle zone stabili suscettibili di amplificazioni locali si ritrovano anche alcune forme di superficie, che possono sovrapporsi alle microzone aumentandone localmente la pericolosità. Nel nostro caso, alla **ZONA 5** si sovrappone il fenomeno della **subsidenza**, particolare forma di superficie che può nel tempo dare deformazioni permanenti.

La stratigrafia tipo rappresentativa della microzona MOPS e riguardante l'area d'interesse specifico (**Figura 6**) è descrivibile come segue:

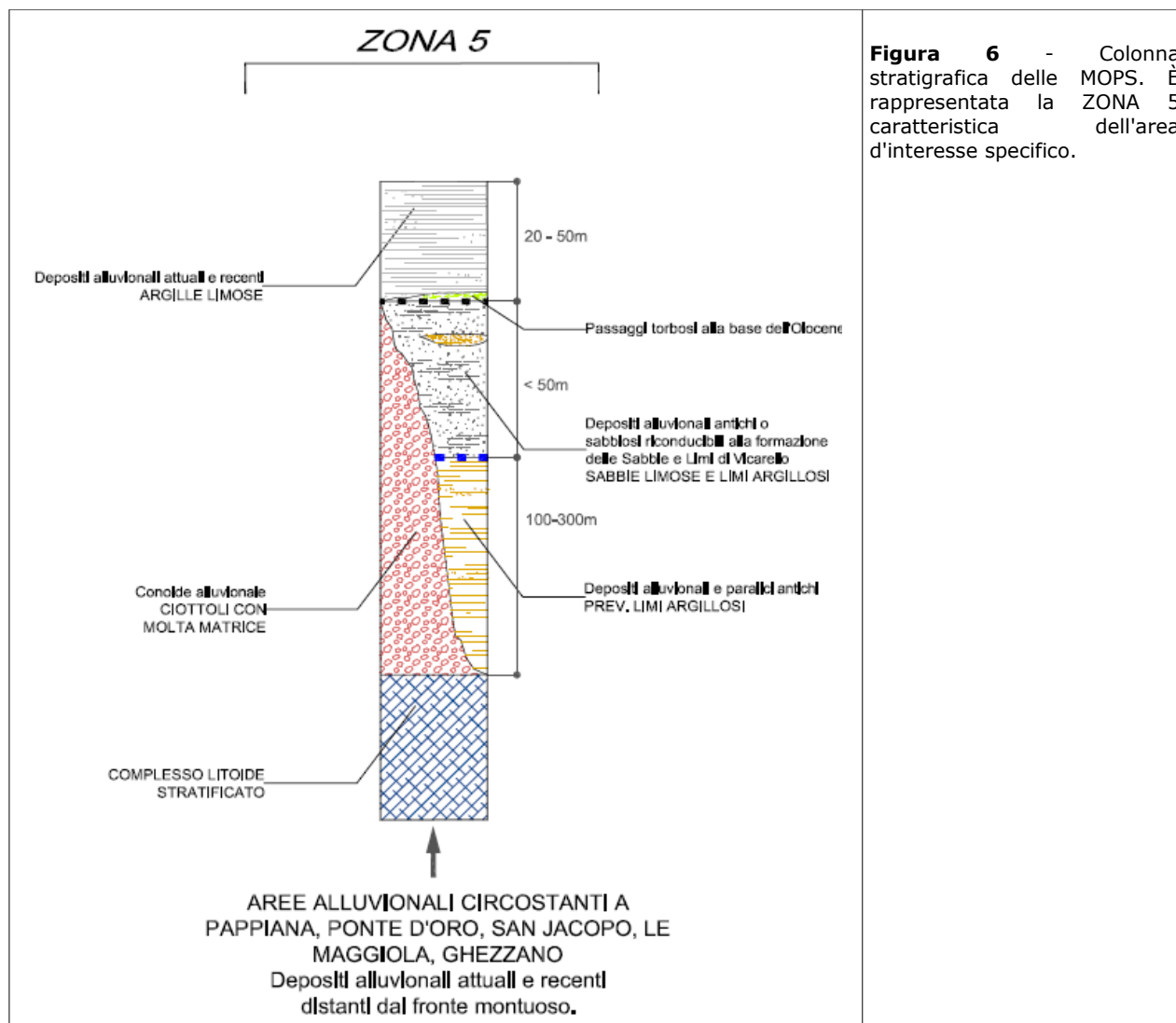
Zona 5 - questa zona si riferisce a tutte le aree di fondovalle, caratterizzate da sedimenti alluvionali olocenici affioranti, a natura prevalentemente coesiva poco consistente. Tale zona è attraversata dalla maggior parte delle indagini geognostiche in quanto in essa, unitamente alle zone più fragili affini (cedimenti diffusi, liquefazione, amplificazione stratigrafica), si sviluppano gran parte dei centri urbani tra cui le località di Pappiana, San Jacopo, Le Maggiola, Ghezzano. Le numerose perforazioni che attraversano questa formazione mostrano prevalenti argille limose molto spesso torbose o fossilifere, di consistenza plastica, che raggiungono spessori compresi tra 20 m e 60 m. Le velocità di propagazione delle onde di taglio, registrate nelle numerose indagini geofisiche a disposizione (prevalentemente MASW) nei primi 30 m sono comprese tra 150 e 170 m/s.

Gli elaborati geologici del POC affermano, così, che nelle zone stabili suscettibili di amplificazioni locali, come la nostra, sono possibili amplificazioni del moto sismico, come effetto della situazione litostratigrafica e morfologica locale.

Riguardo alla subsidenza, gli elaborati geologici del POC, basati sulle misure interferometriche satellitari del moto del suolo a disposizione sul Geoportale Nazionale, hanno perimetrato alcune aree caratterizzate da subsidenza diffusa con velocità minima di 3 mm. Dalle osservazioni effettuate emerge che nelle aree di Metato, Sant'Andrea in Pescaiola e La Fontina - Ghezzano, i movimenti verticali sembrano essere dovuti a due componenti. La prima è dovuta a una subsidenza diffusa, con movimenti generalmente compresi tra 3 e 10 mm/anno, che è pressoché indipendente dal costipamento indotto dai sovraccarichi degli edifici, ritrovandosi anche su edifici di molte decine di anni. La seconda è da imputare alle azioni di recente realizzazione. Questa seconda condizione è particolarmente evidente nell'UTOE 33 La Fontina - Artigianale, dove le misure mostrano abbassamenti superiori a 10 mm/anno.

Nella Carta MOPS sono state anche riportate le misure delle frequenze fondamentali dei depositi, sia quelle che erano a disposizione dell'Amministrazione comunale, sia quelle realizzate appositamente per le indagini di supporto al POC.

La sintesi di tutte le informazioni derivanti dallo studio di MS ha consentito di valutare le condizioni di pericolosità sismica all'interno dell'area MOPS secondo i criteri dettati dal D.P.G.R. 53/R.



La **Pericolosità sismica elevata S.3**, che caratterizza il nostro sito, è stata attribuita alle zone suscettibili di instabilità non comprese nella Classe S.4. Nello specifico, gli elementi di fragilità che ci interessano in particolar modo sono quelli riconducibili a terreni di fondazione particolarmente scadenti, che possono dar luogo a cedimenti del terreno (zone suscettibili di cedimenti differenziali e/o con subsidenza diffusa).

In questo senso, il contesto di pianura alluvionale e costiera, come quella pisana, è infatti favorevole a fenomeni del genere soprattutto perché legati alla presenza di orizzonti più o meno spessi di sedimenti organici, sia sabbiosi che limo-argillosi, che si traduce nella possibilità di cedimenti differenziali sotto le fondazioni, in risposta ad un carico edilizio superficiale, e/o in fenomeni naturali come quelli della subsidenza, per la quale è stato fatto già cenno.

Per quel che riguarda la vulnerabilità idrogeologica degli acquiferi, la carta specifica di corredo al PTC della Provincia di Pisa (consultabile sul sito) inquadra l'area specifica in **CLASSE 2 di vulnerabilità idrogeologica**, che corrisponde a un **grado basso (Tavola 15)**. In questa classe si hanno situazioni in cui la risorsa idrica considerata apparentemente non vulnerabile, in base a considerazioni riguardanti la natura degli eventuali acquiferi e quella dei terreni di copertura, ma per cui permangono margini di

- Pisa -

Via Trieste n. 25 - C.A.P. 56126

Tel.: 050 52 00 054 - Cell.: 347 64 38 298

C.F.: NGRLSN67B07B950H / P.IVA: 01651150508

incertezza dovuti a diversi fattori, quali la scarsa disponibilità di dati, la non precisa definibilità delle connessioni idrogeologiche, e simili; corrisponde altresì alle situazioni in cui sono ipotizzabili tempi di arrivo in falda superiori a 30 giorni; in essa ricadono corpi idrici multifalda caratterizzati dalla presenza di alternanze tra litotipi a diversa ma comunque bassa permeabilità non completamente definiti su base idrogeologica, terreni a bassa permeabilità sciolti o litoidi con pendenze superiori al 20% o con piezometria media profonda, terreni alluvionali in vallette secondarie in cui non si rilevano indizi certi di circolazione idrica e con bacino di alimentazione caratterizzato in affioramento da litologie argilloso-sabbiose.

In detta classe si tiene conto, essenzialmente, della litologia e della granulometria dei livelli più superficiali, della pendenza dei terreni e anche dell'accertata presenza o meno in essi di acquiferi significativi, nonché del loro grado di protezione.

Tale cartografia riveste un suo peso nel calcolo degli effetti operati da rifiuti e scarichi di ogni tipo sulle risorse idriche del territorio: ciò vale sia per gli insediamenti esistenti che per quelli futuri.

8. Pericolosità sismica e suo rischio

In materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e relativamente alle normative tecniche per le costruzioni in zona sismica, è stata emanata l'O.P.C.M. 20 marzo 2003, n. 3274 "Primi provvedimenti in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica" (modificata e integrata nel tempo) che, a seguito della nuova mappa sismica dei comuni italiani contestualmente ridisegnata, disciplina la progettazione e la costruzione di nuovi edifici soggetti ad azioni sismiche, nonché la valutazione della sicurezza e gli interventi di adeguamento su edifici esistenti soggetti al medesimo tipo di azioni.

Con il D.M. 14 gennaio 2008 e la Circolare del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici 2 febbraio 2009, n. 617 "Istruzioni per l'applicazione delle N.T.C. di cui al D.M. 14 gennaio 2008" è diventata operativa la nuova normativa sismica sopra citata.

In base alla nuova mappa di pericolosità sismica dei comuni italiani (O.P.C.M. 28 aprile 2006, n. 3519 "Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone"), le Regioni hanno aggiornato gli elenchi delle zone sismiche, nell'ambito del proprio territorio di competenza, perseguendo altresì l'omogeneizzazione delle mappe, soprattutto nelle aree di confine con altre regioni e definendo eventualmente le sottozone, nell'ambito di uno stesso comune, differenziate anche in relazione alle caratteristiche geolitologiche e geomorfologiche di dettaglio.

Per quanto riguarda il territorio toscano, la mappa regionale, che è stata approvata con D.G.R.T. n. 878 del 8 ottobre 2012 (aggiornata con D.G.R.T. n. 421 del 26/05/2014), inserisce il territorio del Comune di San Giuliano Terme in un'area a bassa sismicità, **Zona Sismica 3**.

In base al D.P.G.R. 22 ottobre 2012, n. 58/R della Toscana "Regolamento di attuazione dell'articolo 117, comma 2, lettera g) della legge regionale 3 gennaio 2005, n. 1 (Norme per il governo del territorio). Verifiche nelle zone a bassa sismicità. Determinazione del campione da assoggettare a verifica", la **Zona Sismica 3** viene suddivisa in fasce di pericolosità che tengano conto del valore di accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico su suolo rigido e pianeggiante

(Categoria A), allo Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV), riferito al periodo di ritorno (T_R) di 475 anni, corrispondente in termini progettuali ad una vita nominale (V_N) di 50 anni e classe d'uso (C_U) pari ad 1 (classe d'uso II), di seguito indicato "a_g":

- a) fascia A, contraddistinta da valori di $a_g > 0,15g$;
- b) fascia B, contraddistinta da valori di $0,125 < a_g \leq 0,15g$;
- c) fascia C, contraddistinta da valori di $a_g \leq 0,125g$.

Ai sensi dell'art. 107, comma 1, lettera d-bis della L.R. 1/2005, il progettista assevera la zona sismica e la fascia di pericolosità del sito, specificandone il valore a_g.

L'azione sismica di progetto prende in considerazione anche il fattore S che è direttamente legato al profilo litostratigrafico del sottosuolo su cui insistono le opere. Tale fattore S unito al già citato a_g, fornisce un'idea degli effetti di sito attraverso la relazione $S \times a_g$ (Accelerazione di progetto).

Oggetto delle norme è la disciplina per la progettazione e la realizzazione di opere di fondazione e di sostegno in terreni soggetti ad azioni sismiche, nonché la valutazione dei requisiti a cui devono soddisfare i siti di costruzione e i terreni di fondazione soggetti alle medesime azioni.

Come è ben noto, gli effetti principali dei terremoti, che sono riconducibili alla natura dei siti e alla tipologia dei terreni, riguardano: probabili fenomeni di amplificazione stratigrafica, topografica e per morfologie sepolte; la presenza di faglie e/o strutture tettoniche; i contatti tra litotipi a caratteristiche fisico-meccaniche significativamente differenti; accentuazione della instabilità dei pendii; terreni suscettibili a liquefazione e/o addensamento; terreni soggetti a cedimenti diffusi e differenziali.

Tale valutazione deve passare attraverso la realizzazione di uno studio di MS almeno di livello 1 secondo i criteri definiti nelle specifiche tecniche di cui all'O.P.C.M. 3907/2010.

Lo studio di MS di livello 1 rappresenta un livello propedeutico ai successivi studi di MS, che consiste esclusivamente in una raccolta organica e ragionata di dati di natura geologica, geofisica e geotecnica e delle informazioni preesistenti e/o acquisite appositamente al fine di suddividere il territorio in microzone qualitativamente omogenee dal punto di vista del comportamento sismico. Tale approfondimento è finalizzato alla realizzazione della carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS).

Come riportato in precedenza, il Comune di San Giuliano Terme, con l'approvazione del POC, ha realizzato tale studio (comprendendovi anche l'area in esame) al fine di valutare la Risposta Sismica Locale (RSL) del territorio comunale e il suo effettivo grado di pericolosità.

Il lavoro è stato svolto nel rispetto di quanto previsto dalla legislazione vigente e, in particolar modo, seguendo il "Regolamento di attuazione dell'articolo 104 della legge regionale 10 novembre 2014, n. 65 (Norme per il governo del territorio) contenete disposizioni in materia di indagini geologiche, idrauliche e sismiche" deliberato con D.P.G.R. della Toscana 53/R/2011, normativa precedente a quella attualmente in vigore (5/R/2020).

Riguardo ai riferimenti tecnici, sono stati presi in considerazione gli Indirizzi e Criteri generali per la Microzonazione Sismica (ICMS), approvati dalla Conferenza dei Presidenti delle Regioni e delle Province autonome nella seduta del 13 novembre 2008, e le Istruzioni Tecniche per le indagini

geologico-tecniche, geofisiche e geotecniche, statiche e dinamiche, finalizzate alla valutazione degli effetti locali nei comuni classificati sismici della Toscana - Programma VEL Toscana, approvato con Delibera Giunta Regionale Toscana 8 dicembre 2000, n. 1343 e s.m.e.i.

8.1 Pericolosità sismica di base

La stima della pericolosità sismica di base, elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche, viene definita tramite un approccio sito dipendente ed è funzione delle coordinate geografiche proprie del sito e del tempo di ritorno di un certo evento.

Tale pericolosità, definita ai sensi delle normativa tecnica per le costruzioni, fornisce quindi in termini probabilistici, per una determinata regione e per un determinato periodo di tempo, i valori dei parametri che descrivono lo scuotimento prodotto dal terremoto, corrispondenti a prefissate probabilità di eccedenza. Essa si riferisce a condizioni ideali di bedrock sismico affiorante (Categoria A di suolo) e privo di irregolarità morfologiche (superficie topografica orizzontale, Categoria T1) e fornisce le caratteristiche del terremoto di riferimento. La macrozonazione sismica di un territorio descrive la pericolosità sismica di base attesa in ogni punto.

Come elemento di riferimento per la determinazione delle azioni sismiche di progetto, in **Tabella 3** sono riportati i dati di base che identificano la pericolosità sismica in condizioni ideali di sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento PV_R , forniti in termini di: valore di accelerazione orizzontale massima del terreno (a_g); valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale (F_0); periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale (T_c^*), per periodi di ritorno T_r di riferimento.

Tr (anni)	a_g (g)	F_0 (-)	T_c^* (s)
30	0,039	2,576	0,222
50	0,048	2,551	0,249
475	0,119	2,389	0,280
975	0,153	2,383	0,283

Tabella 3 - Valori dei parametri a_g , F_0 e T_c^* per i periodi di ritorno T_r di riferimento (da Geostru PS).

Tali valori derivano dagli studi condotti a livello nazionale in funzione dei valori definiti nei nodi del reticolo di riferimento ID 20046, 20047, 20269 e 20268, che contengono il sito, di coordinate: 43,726593 di Latitudine e 10,428823 di Longitudine (in ED50).

8.1.1 Microzonazione sismica di livello 1

Il principale elaborato previsto per il livello 1 di MS è la Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS). Questa carta individua le microzone ove, sulla base di osservazioni geologiche e geomorfologiche e in relazione all'acquisizione, valutazione e analisi dei dati geognostici e di alcune tipologie di dati geofisici, è prevedibile l'occorrenza di diverse tipologie di effetti prodotti dall'azione sismica (amplificazioni, instabilità di versante, liquefazione, ecc.). Di particolare importanza a questo scopo risulta la ricostruzione del modello geologico-tecnico dell'area, l'individuazione dei litotipi che possono costituire il substrato rigido (ovvero dei materiali caratterizzati da valori delle velocità di propagazione delle onde di taglio S significativamente maggiori di quelli relativi alle coperture

localmente presenti) accompagnata da una stima approssimativa della loro profondità rispetto al piano di campagna, una stima di massima del contrasto di impedenza sismica atteso. Fondamentale rimane anche l'individuazione di eventuali discontinuità e morfologie sepolte potenzialmente in grado di causare inversioni della velocità di propagazione delle onde di taglio ed effetti di RSL bi- e tri-dimensionali.

Nelle carte MOPS di livello 1 troviamo così individuate e caratterizzate le Zone Stabili, le Zone stabili suscettibili di amplificazione sismica locale, le Zone suscettibili di instabilità.

Lo studio di MS svolto a supporto del POC di San Giuliano Terme, ai sensi del 53/R/2011, è quello di livello 1 e il quadro conoscitivo per realizzarlo si è basato sulla raccolta dei dati pregressi messi a disposizione dei tecnici dall'Amministrazione comunale e grazie a indagini dedicate ed eseguite ad hoc.

8.1.2 Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS)

Alla luce delle indagini preliminari svolte sul sito di nostro interesse e delle ricostruzioni litologiche e sismo-stratigrafiche del sottosuolo specifico, confrontate con i dati presenti nell'intorno dell'area interessata dal **Piano Particolareggiato** in esame, lo studio di MS del POC di San Giuliano Terme risulta valido e tale da poterlo prendere in considerazione per valutare le condizioni di pericolosità per l'areale in studio, ai sensi della normativa vigente (5/R/2020).

La Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica mette in evidenza una zona, sotto il profilo della microzonazione, piuttosto omogenea litologicamente, geomeccanicamente e dal punto di vista della risposta sismica locale. Considerata poi la sua conformazione morfologica e il quadro conoscitivo esistente è plausibile confermare il sito in esame tra le **zone stabili suscettibili di amplificazione sismica locale**, caratterizzato da una colonna stratigrafica tipo riconducibile alla **Zona 5** (descrizione al capitolo 7 e colonna stratigrafica in **Figura 6**), come dagli studi geologici a supporto del POC del Comune di San Giuliano Terme. Anche i dati sulla frequenza del picco di amplificazione del sito (Hz), come quelli della sua ampiezza (A0), vengono confermati con le indagini qui svolte.

Nell'areale in studio, come riportato in precedenza, è presente anche il fenomeno della **subsidenza**, particolare forma di superficie che si sovrappone alla **Zona 5** e che può dare nel tempo deformazioni permanenti.

9. Pericolosità del sito in base al D.P.G.R.T. 5/R del 30 gennaio 2020

Ai sensi del 5/R/2020, relativamente alle varie pericolosità (geologica, idraulica e sismica), per il sito in esame, riprendendo spunto dalle classi riportate in precedenza che rispecchiano gli elaborati comunali redatti ai sensi del D.P.G.R.T. 53/R del 2011 nell'ambito del POC, e alla luce della campagna d'indagine svolta, proponiamo:

- per l'**aspetto geologico** la **Classe G.3 a pericolosità elevata** in cui ricadono le aree caratterizzate da terreni con scadenti caratteristiche geo-meccaniche, le aree con potenziale instabilità connessa a particolari litologie cedevoli (vale la **Tavola 11**);
- per l'**aspetto idraulico** la **Classe P2 di pericolosità da alluvione** in cui ricadono le aree a pericolosità da alluvioni poco frequenti o a pericolosità per alluvioni media, come classificate negli atti di pianificazione per i bacini del Distretto Appennino Settentrionale, in attuazione del D.Lgs. 49/2010 (vale la **Tavola 12**);

- Pisa -

Via Trieste n. 25 - C.A.P. 56126

Tel.: 050 52 00 054 - Cell.: 347 64 38 298

C.F.: NGRLSN67B07B950H / P.IVA: 01651150508

- per l'**aspetto sismico** la **Classe S.3 a pericolosità sismica locale elevata** in cui rientrano aree con terreni di fondazione particolarmente scadenti che possono dar luogo a cedimenti rilevanti, zone di contatto tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche significativamente diverse, zone stabili suscettibili di amplificazioni locali con fattore di amplificazione (F_x) $> 1,4$, potenzialmente verificabili considerati i dati emergenti dagli abachi per gli studi di MS di livello 2 della Regione Toscana (abaco Toscana costiera) e alla luce dei risultati delle indagini svolte (vale la **Tavola 13**).

Dal **punto di vista sismico**, è possibile definire, in maniera maggiormente dettagliata, la pericolosità in base all'**Allegato 1** del **5/R/2020**, secondo il quale il sito in studio rientra nella **Classe medio-bassa di pericolosità sismica, con valori di ag inferiori o uguali a 0,125g per zone stabili con amplificazione e altre tipologie**.

10. Fattibilità per il Piano in base al D.P.G.R.T. 5/R del 30 gennaio 2020

Per esprimere un parere in merito alla fattibilità del **Piano Particolareggiato** in esame è stata valutata la nuova normativa vigente, la pericolosità complessiva e l'incidenza che gli interventi in progetto avranno sull'area.

Relativamente agli **aspetti geologici**, i **criteri di Fattibilità** per l'area specifica caratterizzata da **pericolosità elevata G.3** sono legati a indagini geognostiche sito specifiche da eseguirsi a livello sia preliminare che edificatorio, al fine di non modificare negativamente le condizioni e i processi geologici presenti nell'area. In questo ambito investigativo, quindi, si dovrà caratterizzare dettagliatamente il sottosuolo dal punto di vista geotecnico, individuando anche spessori ed eventuali variazioni laterali dei depositi fluvio-palustri, al fine delle verifiche agli SLU e SLE richieste dalla normativa tecnica vigente.

Circa la subsidenza, fenomeno locale che interessa anche il nostro sito, la progettazione ne dovrà valutare attentamente il rischio, associato alla costruzione dei nuovi edifici di natura residenziale, proponendo misure mirate alla sua attenuazione attraverso accorgimenti costruttivi e/o fondazioni speciali, che in prima ipotesi potrebbero essere rappresentate da platee integralmente compensate e finalizzate, di conseguenza, ad abbattere il più possibile quei cedimenti legati al peso delle nuove strutture.

Qualora dagli studi, dai rilievi e dalle indagini ne emerga l'esigenza, la fattibilità degli interventi di nuova edificazione o nuove infrastrutture a sviluppo lineare e a rete è subordinata alla preventiva realizzazione degli interventi di messa in sicurezza.

Per gli **aspetti idraulici (pericolosità P2)**, i **criteri di Fattibilità** risultano condizionati dalla L.R. 41/2018 e subordinati alla gestione del rischio di allagamento rispetto allo scenario per alluvioni poco frequenti.

In questo ambito, le opere in progetto e le relative modalità costruttive dovranno seguire i dettami dell'art. 11 della citata legge, come riportato nel corpo del testo. Per le infrastrutture lineari o a rete è da considerare l'art. 13.

Per l'areale d'interesse, l'esatta quota di sicurezza dovrà essere dettagliata in funzione del posizionamento degli interventi all'interno del SUB COMPARTO, a partire dal battente idrico rappresentato nelle cartografie di riferimento dello studio idraulico dell'ing. J. Taccini e dettagliato nel

GRID a disposizione sul sito comunale. A tale battente dovrà essere aggiunto un idoneo franco di sicurezza che non potrà essere inferiore a 20 cm.

Mediante la realizzazione di opere di sopraelevazione e interventi di difesa locale è quindi possibile gestire il rischio da alluvioni con il raggiungimento di un livello di rischio medio R2. Naturalmente tali realizzazioni non devono assolutamente comportare aggravio delle condizioni di rischio al contorno, nel rispetto dei criteri indicati all'art. 8 della legge. In questo senso viene richiesta la compensazione per soli volumi sottratti alla naturale esondazione per eventi con tempo di ritorno duecentennali ($T_r = 200$ anni).

Relativamente al fosso Sarragone, che scorre al limite orientale del COMPARTO 4 lungo la via dei Condotti e che risulta tombato per il tratto di confine del SUB COMPARTO 4B e a cielo aperto per quello del SUB COMPARTO 4A, così come inserito nel reticolo idraulico di riferimento con D.G.R.T. 1357/2017 ai sensi della L.R. 79/2012, gli interventi in progetto dovranno rispettare i limiti normativi di distanza dal suo ciglio di sponda (R.D. 523/1904) e osservare quanto disposto al CAPO I della L.R. 41/2018, riportato in precedenza, assicurandone il mantenimento ed eventualmente il miglioramento dell'efficienza.

La progettazione dovrà infine dettagliare la regimazione delle acque meteoriche che affluiscono sul SUB COMPARTO, sia per precipitazione diretta che per ruscellamento, studiando bene gli scoli attuali al fine di suggerire appropriati accorgimenti sufficienti a mantenere la funzionalità dei recapiti finali nel rispetto dell'invarianza idraulica e per elidere eventuali situazioni di fragilità idraulica.

Riguardo agli **aspetti sismici (pericolosità sismica locale elevata S.3)**, per i **criteri di Fattibilità** è necessario svolgere un'adeguata campagna geofisica sia di superficie che in foro per definire le velocità sismiche dei litotipi e ricostruire un modello sismo-stratigrafico del sottosuolo, tarandola mediante prove geognostiche programmate.

Inoltre è buona norma, per interventi di nuova edificazione, tener sempre conto dell'analisi combinata della frequenza fondamentale del terreno e del periodo proprio delle tipologie edilizie, al fine di verificare l'eventuale insorgenza di fenomeni di doppia risonanza terreno-struttura nella fase della progettazione edilizia.

In relazione alla **vulnerabilità idrogeologica**, è fatto divieto di realizzare scarichi di acque reflue direttamente nel terreno, anche se derivanti da degrassatori e/o fosse settiche o di tipo "Imhoff", e/o tramite trattamenti secondari che non hanno trovato una verifica attraverso studi dedicati a firma di tecnici professionisti.

A parziale conferma di tutto quanto riportato nel presente capitolo, è anche la scheda - norma per gli aspetti geologici relativa all'UTOE 32 La Fontina Praticelli - COMPARTO 4 - SUB 4A e SUB 4B circa le limitazioni e prescrizioni di fattibilità geologica, redatta ai sensi del 53/R/2011 e in base alla L.R. 41/2018 (**Allegato F**). In tale scheda si legge che i battenti idrici attesi sono compresi entro 82 cm, valori massimi presenti localmente in corrispondenza di piccole zone depresse e/o sul fondo delle fosse campestri, con dati medi decisamente più ridotti e compresi entro un massimo di 16 cm.

11. Indicazioni progettuali programma sulle indagini

Le indagini per la definizione del modello geologico di dettaglio e la conseguente ricostruzione del modello geotecnico del sottosuolo, finalizzati alle soluzioni progettuali da adottare e alle verifiche di

sicurezza da valutare relative agli Stati Limite Ultimi e a quelli di Esercizio, dovranno essere definite in ottemperanza alle prescrizioni dettate dalle NTC 2018 e alle istruzioni della relativa circolare del febbraio 2019.

Dovranno essere, anche, seguite le direttive emanate con il D.P.G.R. 36/R del 9 luglio 2009, che disciplina la tipologia delle indagini geologiche, geofisiche e geotecniche da allegare al permesso per costruire o alla SCIA.

Infine, dovranno essere rispettate le Raccomandazioni AGI sulle indagini geotecniche, emanate nel giugno 1977.

Secondo l'art. 7 della normativa regionale sopra citata, i vari interventi in progetto, se presi per singoli immobili, rientrerebbero nella *classe d'indagine n. 3* riferita a:

..... opere di volume lordo inferiore a seimila metri cubi con altezza in gronda inferiore a venti metri. Con riferimento a tale classe d'indagine, la categoria di suolo di fondazione e le geometrie sepolte si determinano mediante indagini geofisiche, quali quelle sismiche a rifrazione o riflessione, eseguite nel sito oggetto di studio. La definizione dei parametri geotecnica è basata su sondaggi geognostici.

Altrimenti, se si considerano le volumetrie complessive che saranno edificate sul lotto in studio, gli interventi si collocherebbero nella classe di indagine n. 4 così definita:

..... opere di volume lordo superiore a seimila metri cubi o, in ogni caso, se l'altezza in gronda è superiore a venti metri. Con riferimento a tale classe d'indagine, la categoria di suolo di fondazione e le geometrie sepolte si determinano mediante prove sismiche in foro. La definizione dei parametri geotecnici è basata su sondaggi geognostici,

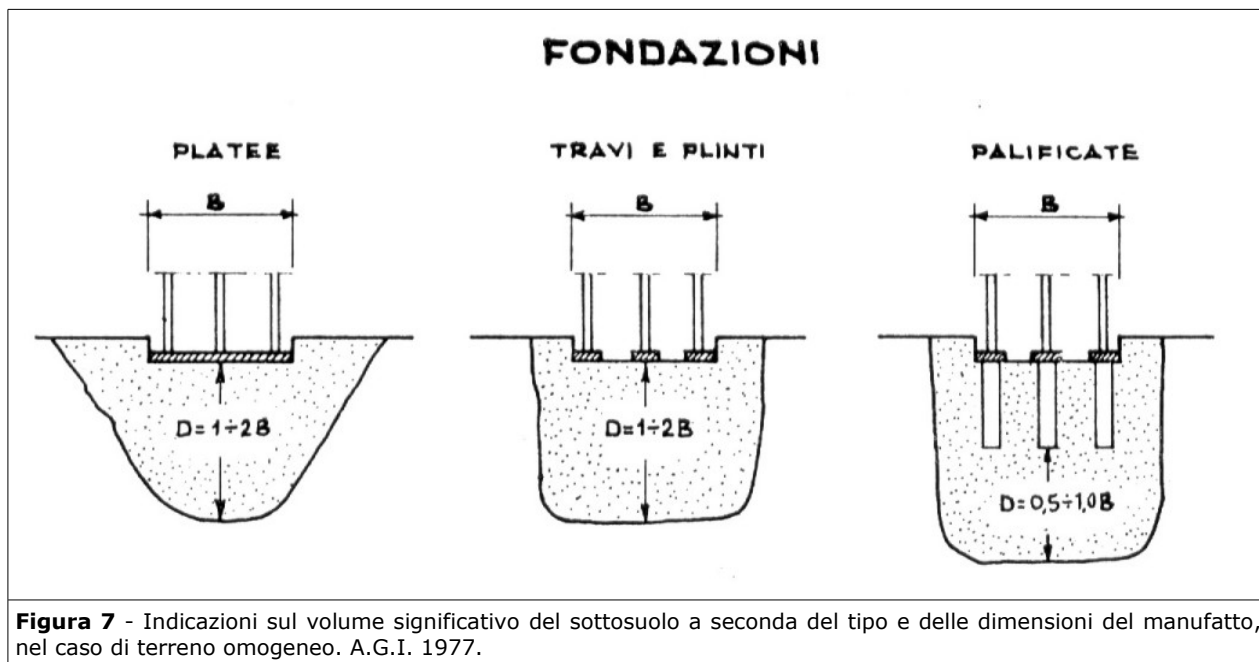
Quello che andiamo a presentare rappresenta, comunque, un programma con valore orientativo, redatto sulla base di quanto emerso col presente studio; eventuali modifiche e integrazioni possono essere apportate qualora dovessero riscontrarsi situazioni geologiche e idrogeologiche sostanzialmente diverse da quelle qui previste o dovessero modificare le tipologie d'opera ad oggi pensate. In sintesi proponiamo quanto segue:

- n. 2 prove penetrometriche statiche con piezocono CPTU spinte fino alla profondità di 25 m circa, per la caratterizzazione lito-stratigrafica e geotecnica del sottosuolo (già svolte con il presente studio);
- n. 1 sondaggio geognostico a carotaggio continuo, spinto a 30 m di profondità dal piano di appoggio delle fondazioni, per conoscere la natura e la composizione del sottosuolo;
- prelievo di alcuni campioni indisturbati di terreno per varie analisi fisico-meccaniche di laboratorio, in numero e prove necessarie e sufficienti alle tipologie costruttive in progetto e alle loro fondazioni;
- n. 1 prospezione sismica superficiale mediante tecnica MASW ("Multichannel Analysis of Surface Waves") per ricostruire il profilo verticale di velocità delle onde S e calcolare del parametro Vsh (già svolta con il presente studio);
- n. 2 / 3 sondaggi in sismica passiva a stazione singola elaborati attraverso la metodologia basata sul rapporto spettrale H/V (HVSr) per il calcolo della frequenza di risonanza caratteristica di sito e per verificare i risultati ottenuti dal MASW (in parte già svolti con il presente studio);

- n. 1 indagine sismica nel foro di sondaggio, attrezzato, tipo down hole per la ricostruzione sismo-stratigrafica del sottosuolo.

Infine, non sono da escludere prove su piastra o similari per la realizzazione della viabilità e dei parcheggi auto.

La profondità delle verticali d'indagine deve essere estesa almeno alla parte di sottosuolo interessata, direttamente o indirettamente, dalla costruzione dei manufatti in progetto e che influenza il comportamento dei manufatti stessi (concetto di volume significativo). A titolo indicativo nella **Figura 7** sono rappresentati i volumi significativi per alcuni casi semplici e con riferimento a terreni omogenei.



Nel caso in esame, la presenza nel sottosuolo di disomogeneità e contestualmente di terreni particolarmente scadenti (argille compressibili) può modificare in modo sostanziale lo spessore del volume significativo.

12. Effetti di doppia risonanza suolo-struttura

Sono state condotte, come detto, specifiche indagini al fine di escludere effetti di doppia risonanza suolo-struttura che ne possano compromettere l'integrità in caso di sisma e di fornire i parametri modali necessari per l'esecuzione di specifiche analisi agli elementi finiti.

Nel caso di sollecitazione prolungata nel tempo, essa può diventare particolarmente pericolosa per l'edificio, progettato come elastico, se il terreno trasmette una componente del segnale sismico con stessa frequenza di oscillazione della struttura:

- frequenza di oscillazione del terreno minore della frequenza naturale di oscillazione della struttura - i danni sono "limitati";
- frequenza di oscillazione del terreno uguale alla frequenza naturale di oscillazione della struttura - i danni sono "illimitati".

Dovrà pertanto essere verificato che le frequenze di oscillazione dei vari corpi strutturali non si sovrappongano alle frequenze di 0,3 Hz e 1 Hz (frequenze fondamentali dell'areale considerato) per un intervallo indicativo pari al 10%.

Dal punto di vista empirico, è noto che la frequenza di risonanza di un edificio è governata principalmente dall'altezza e può essere pertanto calcolata, in prima approssimazione, secondo la formula: **frequenza naturale edificio all'incirca uguale a 10 Hz / numero piani**.

È quindi la coincidenza di risonanza tra terreno e struttura ad essere particolarmente pericolosa, poiché da luogo alla massima amplificazione e deve quindi essere oggetto di studi approfonditi.

In generale, maggiore è l'altezza del fabbricato e minore è la frequenza di vibrazione (ovvero è più lungo il periodo di oscillazione); in realtà occorre considerare anche la forma e le modalità costruttive.

In prima approssimazione, vengono esclusi problemi di doppia risonanza in rapporto alle frequenze osservate, considerando le altezze dei fabbricati in questione misurate dalle loro fondamenta.

13. Terre e rocce da scavo

Si ricorda che i vari interventi del **Piano Particolareggiato** in progetto andranno sicuramente a comportare la rimozione di una certa quantità di terra o roccia da scavo. Al riguardo, le disposizioni sono contenute nel nuovo D.P.R. 279/2016, approvato in via definitiva dal Consiglio dei Ministri il 14 luglio 2016 ed entrato in vigore il 22 agosto 2017 con il **D.P.R. 13 giugno 2017, n. 120** "Regolamento recante la disciplina semplificata della gestione delle terre e rocce da scavo, ai sensi dell'articolo 8 del decreto-legge 12 settembre 2014, n. 133, convertito, con modificazioni, dalla legge 11 novembre 2014, n. 164"..

Tale decreto va ad abrogare la normativa precedente ed ha come obiettivo principale quello di agevolare e incrementare il ricorso alla gestione delle terre e rocce da scavo come sottoprodotti, semplificando le procedure e riducendo gli oneri documentali, fissando, inoltre, tempi certi e definiti per l'avvio delle attività di gestione di materiali e garantendo che avvengano in condizioni di sicurezza ambientale e sanitaria, prevedendo un rafforzamento del sistema di controlli e vigilanza da parte delle autorità competenti.

14. Considerazioni conclusive

Dal quadro descritto si ritiene che il **Piano Particolareggiato** in studio si possa inserire in modo idoneo nel contesto ambientale e urbanistico dell'intorno del sito specifico e fattibile dal punto di vista geologico.

Tuttavia si devono seguire le indicazioni e prescrizioni riportate nel presente lavoro in riferimento alle pericolosità gravanti sul sito:

- **Pericolosità geologica elevata - Classe G.3;**
- **Pericolosità idraulica - Classe P2;**
- **Pericolosità sismica locale elevata - Classe S.3.**

In base al nuovo regolamento **5/R/2020**, sono stati distinti i **criteri di fattibilità** in funzione delle situazioni di pericolosità riscontrate per i diversi fattori (geologici, idraulici e sismici), ai fini di una più agevole e precisa definizione delle condizioni di attuazione delle previsioni, delle indagini di approfondimento da effettuare, delle opere necessarie per la mitigazione dei rischi, nel rispetto delle disposizioni degli enti competenti.

Si ricorda, in materia idraulica, che alla luce dei nuovi elaborati redatti a supporto del POC del Comune di San Giuliano Terme è necessario valutare i battenti idraulici aggiornati al fine di programmare in maniera appropriata le opere di sopraelevazione e difesa locale e compensare i volumi sottratti alla piena duecentennale per non aggravare la pericolosità e il rischio nell'intorno del sito oggetto di studio.

Si ricorda, altresì, gli accorgimenti da adottare per i prevedibili cedimenti del terreno sotto i carichi delle nuove strutture e delle opere in progetto, al fine anche di mitigare l'associato fenomeno naturale della subsidenza.

Si rimane a disposizione per eventuali ulteriori chiarimenti di natura geologico-tecnica.

Pisa, febbraio 2021

dott. Geologo Alessandro Ungari

