



**Comune di
Saluggia (VC)**



**MITIGAZIONE DEL RISCHIO IDROGEOLOGICO E MESSA IN SICUREZZA
DEI SITI CHE OSPITANO RIFIUTI NUCLEARI E DEGLI AMBITI
COLLOCATI A TERGO DELLA FASCIA B DI PROGETTO DEL PAI**

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA

Relazione Geologica

CODICE DOCUMENTO

ELABORATO

S 6 3 0 - 0 0 - 0 0 3 0 0 . D O C

1.3

| | | | | |
|------|---------------|------------|----------|----------------|
| 00 | NOVEMBRE 2022 | V. BARELLA | A.DENINA | M. CODO |
| REV. | DATA | REDAZIONE | VERIFICA | AUTORIZZAZIONE |

SERVIZI DI INGEGNERIA



R.U. P.

Geom. Ombretta Perolio
(Resp. Uff. Tecnico-Urbanistico Comune di Saluggia)

RIPRODUZIONE O CONSEGNA A TERZI SOLO DIETRO SPECIFICA AUTORIZZAZIONE

INDICE

| | |
|---|----|
| 1. PREMESSA | 1 |
| 2. INQUADRAMENTO GENERALE | 2 |
| 3. DESCRIZIONE DELLE OPERE IN PROGETTO | 3 |
| 4. ASSETTO MORFOLOGICO | 7 |
| 5. GEOLOGIA | 9 |
| 5.1 Sistema di Ghiaia Grande | 11 |
| 5.2 Sistema di Crescentino | 11 |
| 5.3 Sistema di Trino | 11 |
| 5.4 Depositi fluvioglaciali (Fluvioglaciale Riss) | 12 |
| 5.5 Substrato prequaternario | 12 |
| 6. ASSETTO STRATIGRAFICO | 12 |
| 7. ASSETTO IDROGEOLOGICO | 16 |
| 7.1 I depositi fluvioglaciali e alluvionali | 16 |
| 7.2 I depositi Villafranchiani | 16 |
| 7.3 I sedimenti basali sabbioso-limosi | 16 |
| 7.4 Le unità idrogeologiche principali | 16 |
| 7.5 Considerazioni sulle falde idriche e misure piezometriche | 17 |
| 7.6 Andamento dei deflussi sotterranei | 18 |
| 8. STABILITA' DELL'AREA | 19 |
| 8.1 La Direttiva 2007/60/CE (Direttiva alluvioni) | 20 |
| 8.2 Gli elaborati del P.R.G.C. di Saluggia | 21 |
| 8.3 Il Piano per l'Assetto Idrogeologico (PAI) | 23 |
| 8.4 Dinamica del F. Dora Baltea | 25 |
| 9. CARATTERIZZAZIONE SISMICA | 28 |
| 9.1 Categoria del sottosuolo | 29 |
| 9.2 Categoria topografica | 29 |
| 9.3 Vita nominale e classe d'uso | 29 |
| 9.4 Definizione degli spettri orizzontali e verticali | 30 |
| 9.5 Calcolo dei coefficienti sismici k_h e k_v | 31 |
| 9.6 Esclusione della verifica a liquefazione | 31 |
| 10. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA PRELIMINARE | 32 |
| 10.1 Cenni sulla prova penetrometrica | 34 |
| 10.2 Analisi dei dati penetrometrici | 34 |
| 10.3 Definizione dei parametri geotecnici fondamentali | 34 |
| 11. FILTRAZIONE DEL CORPO ARGINALE | 35 |
| 12. VERIFICHE AL SIFONAMENTO | 36 |
| 13. ACCORGIMENTI TECNICI PER LA COSTRUZIONE DELL'ARGINE | 36 |

1. PREMESSA

La presente indagine geologica è svolta a supporto della progettazione delle opere per la salvaguardia da evento alluvionale in attuazione del Piano di Assetto Idrogeologico e materializzazione della fascia B di progetto AdBPo, presso il sito ex Sorin in Comune di Saluggia. Gli interventi sono finalizzati alla mitigazione del rischio idrogeologico e alla messa in sicurezza del sito industriale, che ospita rifiuti nucleari, per portate caratterizzate da un tempo di ritorno pari a 200 anni.

In seguito ai sopralluoghi e alle indagini effettuate è stata redatta la presente relazione tecnica, condotta secondo quanto prescritto dal D.M. 17.01.2018.

Nei capitoli che seguono viene illustrato il contesto morfologico e geologico interessato dagli interventi e sono analizzate le caratteristiche stratigrafiche e idrogeologiche dell'area. Inoltre, viene analizzata la stabilità dei luoghi sulla base delle analisi effettuate e di quanto riportato negli abbondanti dati bibliografici esistenti, è svolta la caratterizzazione sismica del sito e vengono definiti in prima approssimazione i parametri geotecnici dei terreni in cui si inseriscono le opere. Infine vengono forniti alcuni accorgimenti geologico-tecnici per la corretta realizzazione delle opere.

2. INQUADRAMENTO GENERALE

Il sito ex Sorin (Società Ricerche Impianti Nucleari) è ubicato in Comune di Saluggia (VC), estendendosi per 16 ettari immediatamente a Sud della Strada Provinciale n. 37 Saluggia-Crescentino, a una distanza di circa 2 km a Sud-Est dal centro abitato di Saluggia, inserendosi in un ambito naturale privo di urbanizzazione con spiccata vocazione agricola: il sito rappresenta infatti l'unico ambito antropizzato presente, insieme al limitrofo Centro Ricerche ENEA, circondato da campi coltivati e ampie aree verdi. In particolare, il comprensorio nucleare è delimitato a Est dal canale Farini, a Sud dal canale Cavour, a Ovest dal fiume Dora Baltea e a Nord da proprietà private.

L'accesso all'impianto avviene dall'abitato di Saluggia mediante una viabilità dedicata che si diparte dalla S.P. 37 e che conduce sia al sito ex Sorin che al Centro Enea, oltrepassando il Canale Farini. L'ingresso è controllato e chiuso da una sbarra.

Il sito ex Sorin è attualmente sprovvisto di opere idrauliche idonee alla difesa dalle acque di esondazione della Dora Baltea, che in occasione di eventi di piena di carattere eccezionale possono raggiungerlo e inondarlo con battenti idrici di altezza significativa.

La Fig. 1 evidenzia l'ubicazione del sito ex Sorin.

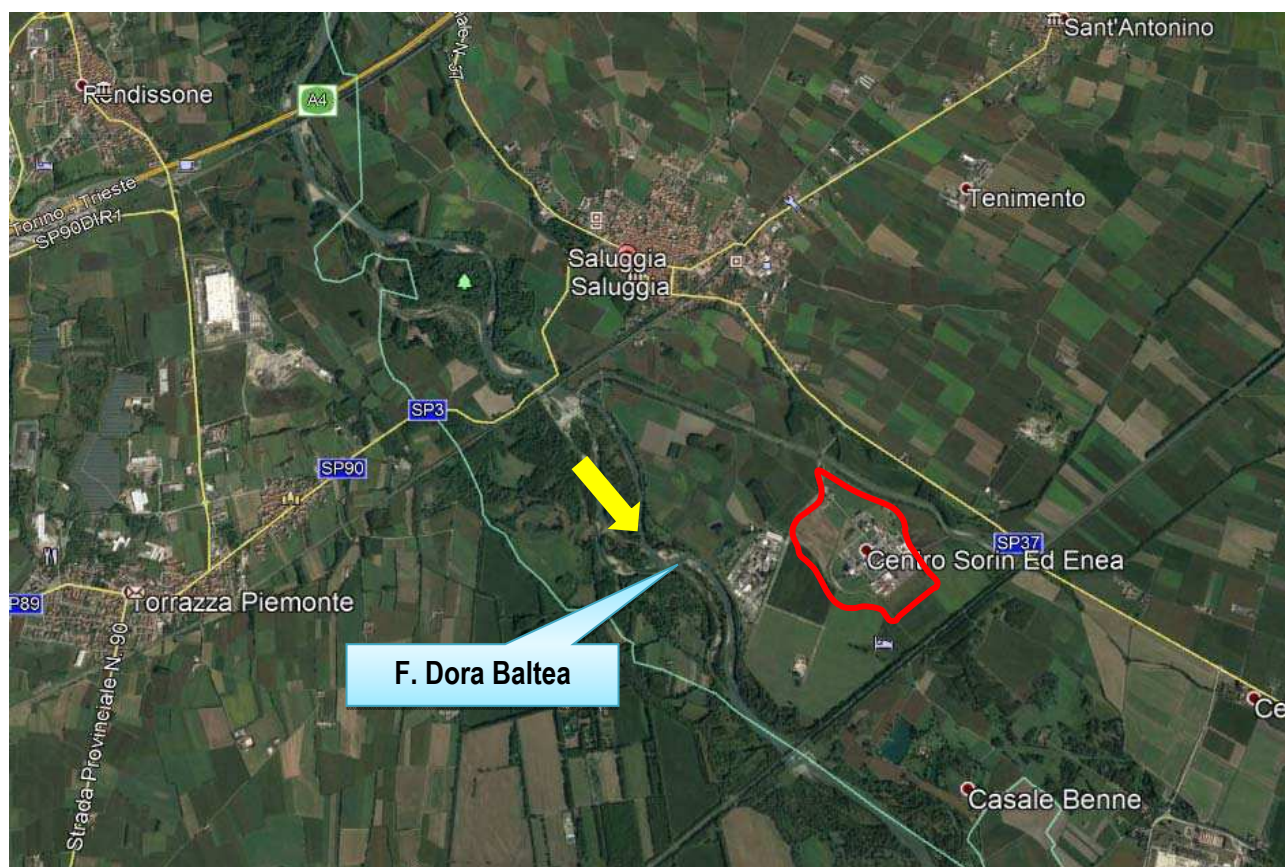
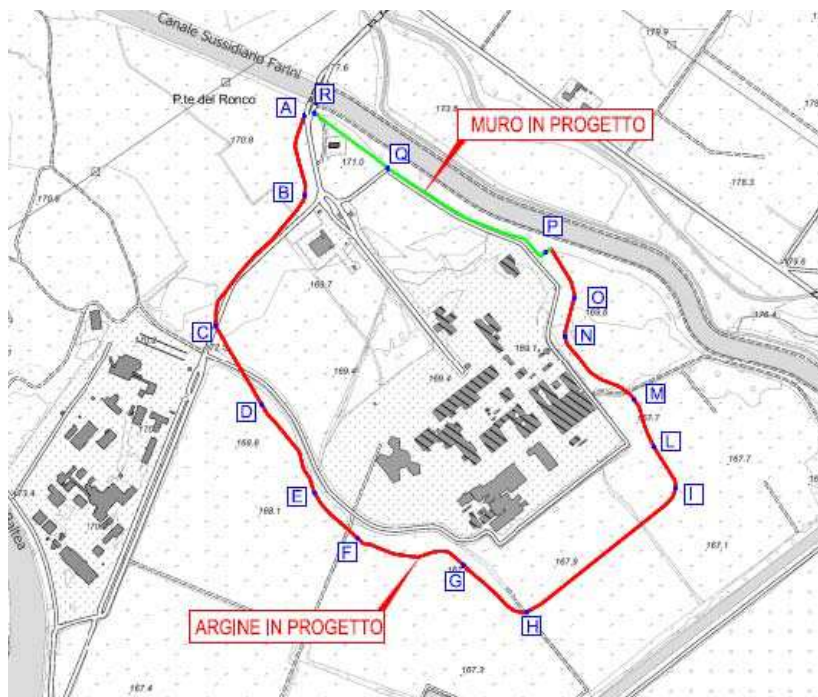


Fig. 1 - Il sito di intervento, evidenziato in rosso

3. DESCRIZIONE DELLE OPERE IN PROGETTO



Nel presente progetto, per la difesa idrogeologica del sito ex Sorin, è prevista la realizzazione di:

- un **rilevato arginale**, di lunghezza pari a circa **2.286 m**, di altezza massima pari a 4,0 m, provvisto di setto antifiltrazione interno e diaframma antisifonamento, con quota di coronamento posta a quota variabile tra 172,33 m s.m ad ovest e 170,92 m s.m. ad est, con franco di 1 m rispetto alla piena **Tr 200 anni**.
- un **muro in c.a.** gettato in opera, calcestruzzo C32/40, di lunghezza pari a **544 m**, adeguato al contenimento della piena con tempo di ritorno 200 anni, con spessore 40 cm, altezza pari a 1,40-2,00 m e con un diaframma antisifonamento di profondità pari a m. 2,5 m (spessore 50 cm) . Il muro sarà rivestito, su entrambi i lati, in pietra di Luserna a blocchetti squadrate cementati, spessore 20 cm, e avrà una copertina in pietra di Luserna, spessore 4 cm, larghezza 90 cm. La sommità del muro è prevista a quota variabile 172,33-171,87 m s.m., decrescente, da ovest ad est.

Il posizionamento planimetrico dell'argine, rispetto al comprensorio ex Sorin, è stato effettuato all'esterno della stradina sterrata perimetrale di servizio esistente e non in corrispondenza di essa, per i seguenti motivi:

- il sito è presidiato del Ministero della Difesa e dal corpo dei Carabinieri che utilizzano la suddetta pista per i controlli e le verifiche di sicurezza quotidiane e deve pertanto essere mantenuta funzionale anche durante il corso dei lavori;
- il rilevato della stradina non ha presumibilmente le caratteristiche idonee a diventare un rilevato arginale e pertanto non si può procedere al ringrosso, ma sarebbe necessaria una demolizione del rilevato



stradale e trasporto a discarica del relativo materiale di risulta, con conseguente incremento dei costi e maggior impatto ambientale.

Si riportano, in seguito, le fasi realizzative dell'argine in progetto:

- a) taglio di tutta la vegetazione interessante il corpo arginale in progetto e le piste di servizio ai lati del rilevato, con trasporto e smaltimento a discarica del legname/ramaglie di risulta (oneri a carico dell'Impresa);
- b) scotico al di sotto del piano campagna (linea retta che collega il p.c. in sinistra, con il p.c. in destra) per una profondità pari a 30 cm e successivo scavo di sbancamento per una profondità di 45 cm;
- c) realizzazione del diaframma in c.a., di larghezza 60 cm ed altezza 4,0 m (2,5 m in corrispondenza del muro lato nord);
- d) posa water-stop per giunzione idraulica con il setto superiore;
- e) realizzazione del setto antifiltrazione di altezza variabile e quota di sommità posizionata a -1,00 m rispetto alla sommità arginale;
- f) realizzazione dell'intero corpo arginale, secondo le sagome di progetto;
- g) posa di rete metallica a doppia torsione a maglia esagonale anti-nutrie sul paramento lato fiume, compenetrata con geocomposito tridimensionale con funzione antierosiva;
- h) ricoprimento delle scarpate con terreno vegetale;
- i) idrosemina finale su entrambe le scarpate dell'argine

Con riferimento al punto d) dell'elenco precedente, la rete metallica sarà sostituita a sud-ovest (nella strettoia tra C e D, per una lunghezza di circa 450 m) da materassi metallici tipo "Reno", spessore 30 cm, poiché, in caso di piena, la velocità della corrente in golena assume valori dell'ordine di 1 m/s in quel tratto e quindi potenzialmente in grado di assumere un effetto erosivo significativo.

In corrispondenza delle varie strade interferenti con l'argine in progetto, si prevede l'adeguamento delle rampe di discesa dall'argine: in corrispondenza delle strade asfaltate esistenti. Si riporta, nel seguito, una tabella riepilogativa:

| RAMPE | | | |
|-------|----------------|-------------|---------------|
| NODO | DISLIVELLO [m] | TIPO STRADA | LUNGHEZZA [m] |
| B | 2,3 | STERRATA | 42 |
| C | 1 | ASFALTATA | 94 |
| D | 1,4 | STERRATA | 81 |
| F | 3,5 | STERRATA | 57 |
| H | 1,1 | STERRATA | 112 |
| I | 3,4 | STERRATA | 65 |
| M | 4,3 | ASFALTATA | 126 |
| P | 0,5 | STERRATA | 35 |

Si prevede di ripristinare tutti i fossi esistenti interferenti con l'argine in progetto. Ogni attraversamento sarà costituito da:

- tubazione in c.a. turbocentrifugato DN 1.200/1.500 mm con resistenza minima di kN/m² 1,50, munita di giunto in acciaio a mezzo spessore con anello di tenuta in gomma neoprene;
- manufatto di raccondo in c.a.;

-paratoia a sezione circolare DN 1200-1500, in acciaio inox AISI 304, tenute 4 lati in EPDM, provvista di attuatore elettrico e sensori di livello per azionamento automatico – lato interno all'argine;
 -valvola antiriflusso a battente DN 1200-1500 in acciaio inox AISI 304, con contrappeso – lato esterno all'argine.



Si riporta in seguito una tabella riepilogativa con le caratteristiche dell'opera di contenimento:

| NODO | PROGRESSIVA DEL PROFILO[m] | QUOTA TERRENO [m s. m.] | TIPOLOGIA INTERVENTO | QUOTA TESTA ARGINE/ MURO [m s. m.] | ALTEZZA ARGINE/ MURO [m] |
|------|----------------------------------|----------------------------|-------------------------|--|--------------------------------|
| A2 | 22,3 | 171,55 | ARGINE | 172,33 | 0,78 |
| C | 482,2 | 170,05 | ARGINE | 172,33 | 2,3 |
| H | 1355,7 | 167,25(SX) / 168,50 (DX) | ARGINE | 170,92 | 3,7 (SX) 2,4 (DX) |
| I | 1742,85 | 168,00 | ARGINE | 170,92 | 2,9 |
| P | 2308,25 | 170,5 | ARGINE-MURO | 171,65 | 1,15 |
| Q | 2578,25 | 171,1 | MURO | 172,33 | 1,23 |
| R | 2851,75 | 171,6 | MURO | 172,33 | 0,78 |

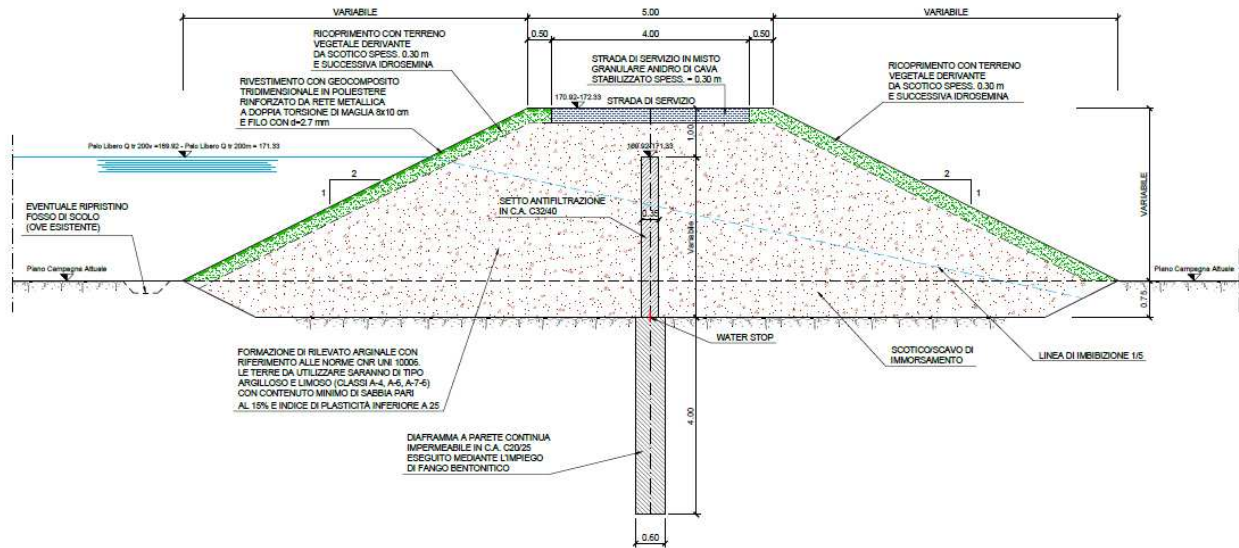
Sulla testa dell'argine è prevista una strada di servizio, larga 4,0 m, realizzata con misto granulare anidro per fondazioni stradali, spessore 30 cm, adeguatamente compattato.

Al di sotto del sedime stradale, è prevista la posa di due cavidotti in Pead corrugato tipo "Enel" De 125 mm, Classe N, resistenza alla compressione > 750 per alimentare le paratoie motorizzate.

E' previsto, in progetto, il decespugliamento (comprensivo di taglio alberi, estirpazione ceppaie, ripristino scarpata), per una fascia di larghezza pari a 4,0 m per tutta la lunghezza dell'intervento relativo al muro antialluvione in c.a..

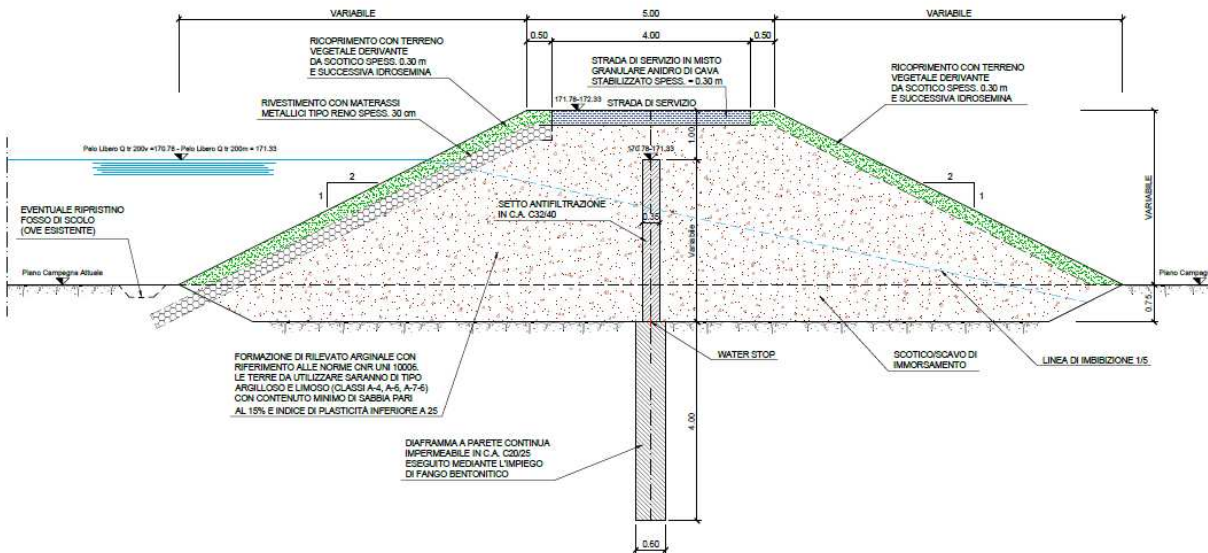
SEZIONE TIPO ARGINE CON GEOGRIGLIA:
 - TRATTO DA PROGRESSIVA 22.00 A PROGRESSIVA 372.00;
 - TRATTO DA PROGRESSIVA 822.00 A PROGRESSIVA 2308.00.

Scala 1:50



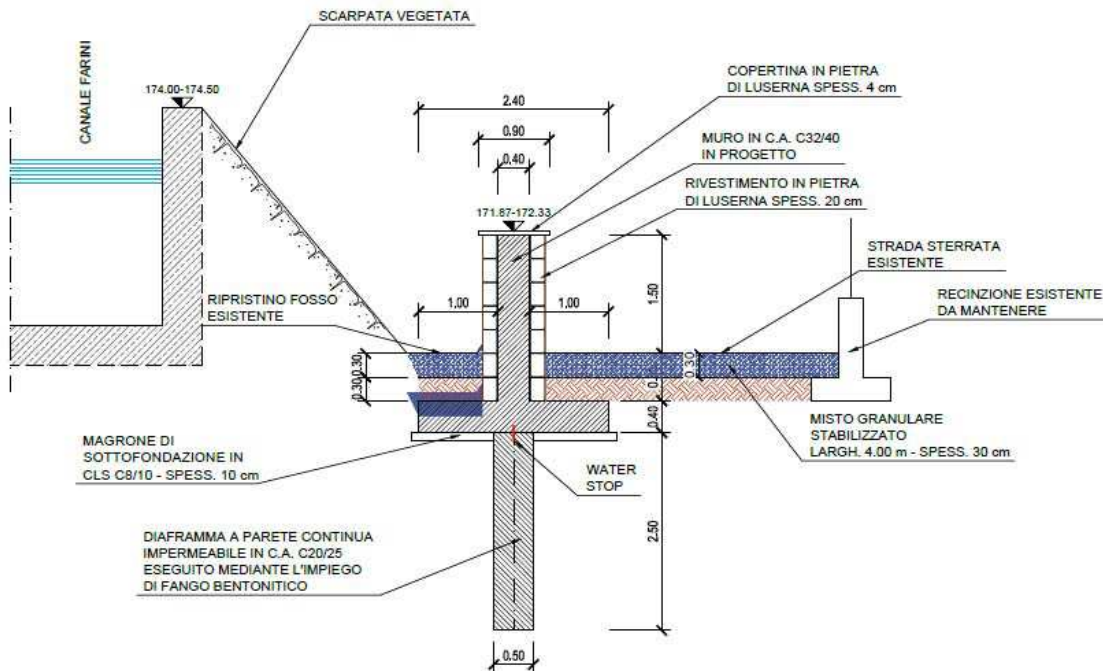
SEZIONE TIPO ARGINE CON MATERASSI METALLICI:
 - TRATTO DA PROGRESSIVA 372.00 A PROGRESSIVA 822.00.

Scala 1:50



SEZIONE TIPO MURO:
- TRATTO DA PROGRESSIVA 2308.00 A PROGRESSIVA 2852.00

Scala 1:50



4. ASSETTO MORFOLOGICO

Il quadro morfologico generale è direttamente riconducibile all'attività antica, recente ed attuale del Fiume Dora Baltea, il quale, attraverso la successione nel tempo di episodi caratterizzati da prevalente tendenza al deposito dei sedimenti ad altri in cui è prevalsa l'attività erosiva, ha determinato il modellamento di una serie di ripiani (superfici di terrazzo) situati a quote differenti, tra loro delimitati da scarpate con altezza e pendenza variabili. Inoltre, specie in prossimità dell'alveo, sono evidenti ondulazioni, depressioni e veri e propri alvei secondari che solcano in varia misura la superficie terrazzata incisa dall'alveo del corso d'acqua.

L'area, infatti, è interamente compresa nella piana alluvionale prossima al reticolo idrografico principale, soggetta ad inondazioni conseguenti ad eventi alluvionali con tempi di ritorno $T_r > 200$ anni. Tali eventi presentano caratteri di elevata energia e battenti idrici significativi e sono in grado di modificare localmente le forme superficiali sopra descritte e riattivare gli alvei secondari, asciutti in regimi ordinari del corso d'acqua; questi ultimi presentano un andamento sinuoso con sviluppo, ampiezza e profondità molto variabili e sono delimitati da declivi più o meno pronunciati, che spesso assumono la morfologia di vere e proprie scarpate di erosione.

Tali evidenze morfologiche testimoniano la significativa attività del corso d'acqua, che alterna periodi di stabilità con portate ordinarie ad altri caratterizzati da portate di piena straordinarie o eccezionali, con conseguente riattivazione degli alvei secondari, deposito di materiale a varia granulometria sulle superfici terrazzate esterne all'alveo e processi erosivi lungo le scarpate.

Al fine di evidenziare i processi morfologici principali, si rimanda alla Fig. 4, che riporta un estratto della "Carta della Dinamica Fluviale" tratta dagli elaborati geologici di P.R.G.C. di Saluggia.

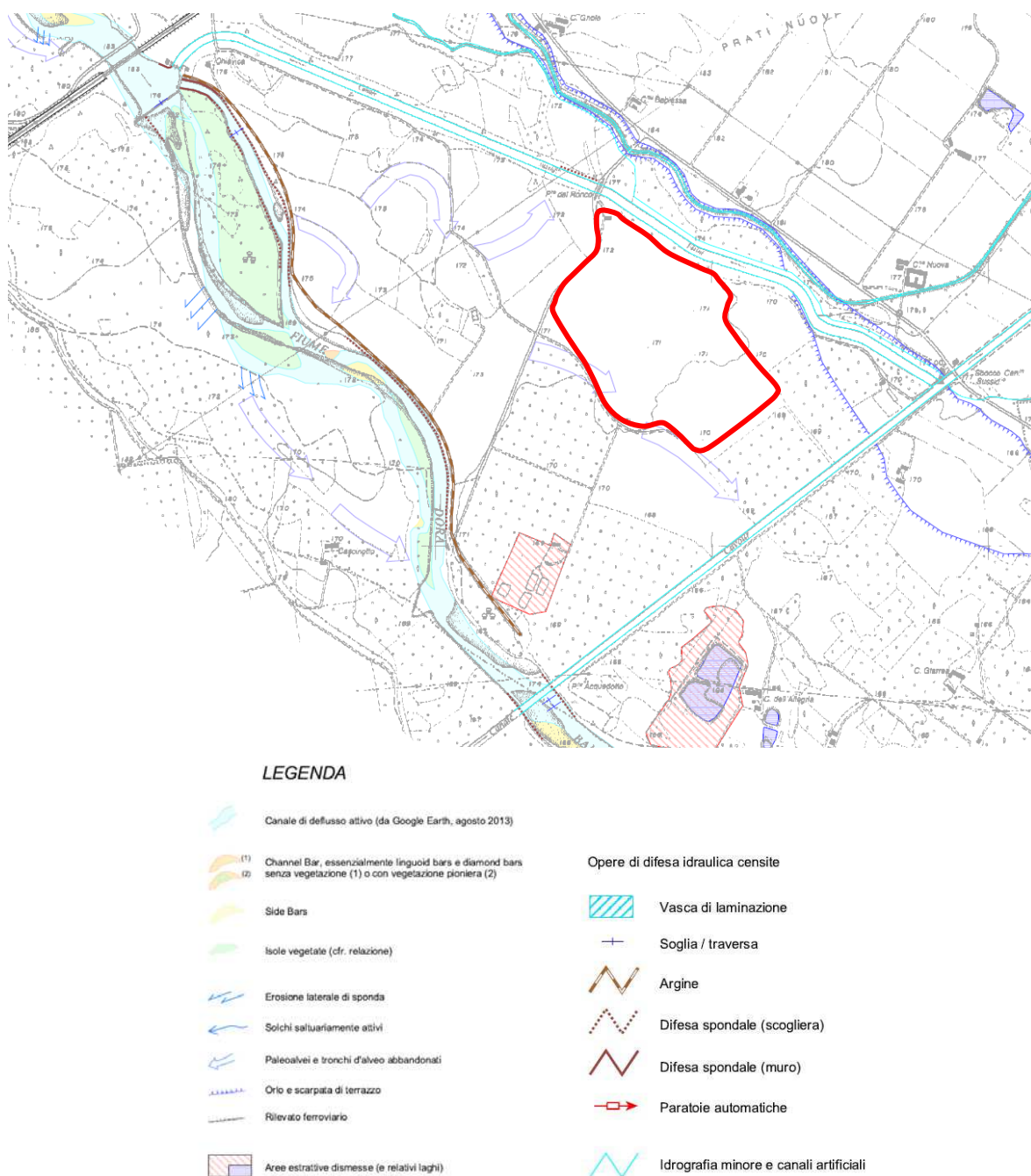


Fig. 4 - Estratto dalla "Carta della Dinamica Fluviale" - PRGC di Saluggia. Il sito di intervento è evidenziato in rosso

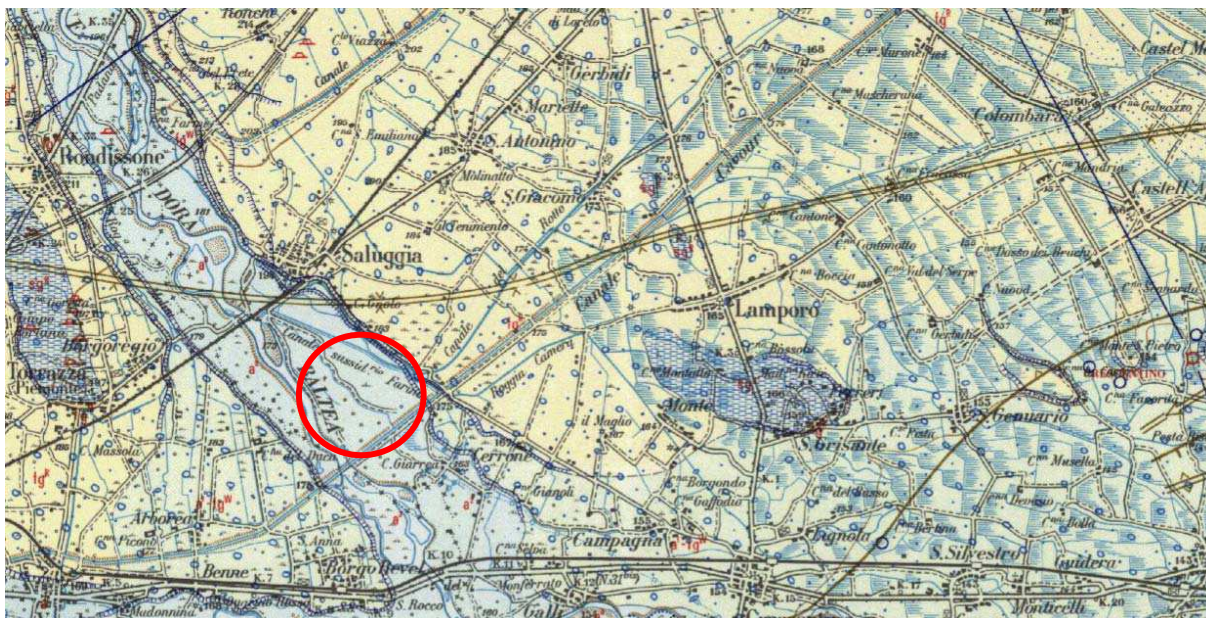
In particolare, il sito occupato dall'impianto ex Sorin si trova ad una quota altimetrica compresa tra 170 e 171 m, in corrispondenza della superficie di terrazzo inferiore direttamente incisa dall'alveo della Dora Baltea, che scorre circa 1.4 km a SW ad una quota inferiore di 2÷3 metri. Immediatamente a Est del sito si sviluppa una scarpata avente un'altezza dell'ordine di 1 m che separa il terrazzo inferiore da quello intermedio. Ancora più a Est si individua la scarpata principale che separa il terrazzo intermedio da quello superiore, che si livella ad

una quota maggiore di 5 metri. Il terrazzo superiore, esterno alle aree inondabili per la sua quota rilevata sull'alveo del corso d'acqua, presenta una morfologia estremamente monotona e priva di particolari evidenze, essendo caratterizzato unicamente da una superficie pianeggiante molto uniforme, con debole inclinazione verso SE.

5. GEOLOGIA

L'assetto geologico dell'area è stato ricostruito grazie alle indagini e ai rilievi di terreno condotti e alle analisi di alcune stratigrafie in possesso dello scrivente o reperite negli elaborati geologici del P.R.G.C. di Saluggia. I dati scaturiti sono stati confrontati con gli elementi forniti dalla Cartografia Geologica Ufficiale, in particolare il Foglio 57 Vercelli della Carta Geologica d'Italia alla scala di 1:100.000 e la "Carta Litotecnica" facente parte degli elaborati geologici del P.R.G.C. di Saluggia.

Nella Fig. 5 è riportato uno stralcio del F. 57 della Carta Geologica d'Italia, mentre in Fig. 6 è riportato uno stralcio della Carta litotecnica tratta dal P.R.G.C.



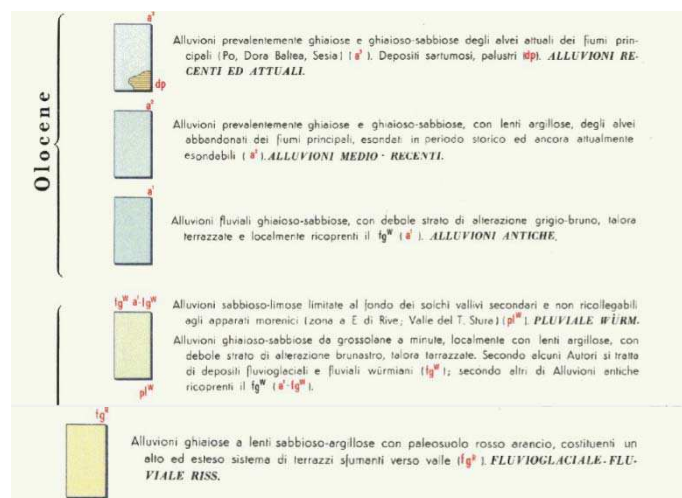


Fig. 5 - Estratto dalla CGI e relativa legenda. In rosso l'ubicazione dell'ara

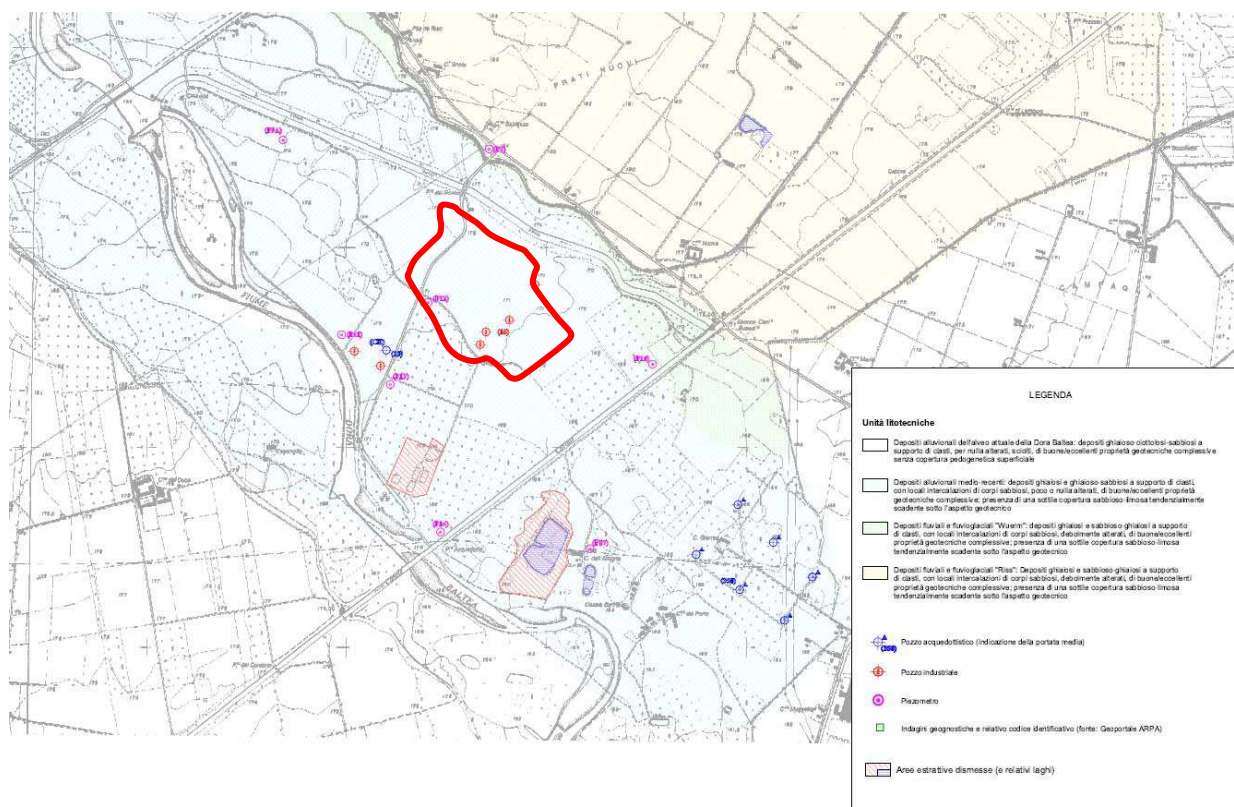


Fig. 6 - Estratto dalla Carta litotecnica di P.R.G.C. di Saluggia. In rosso l'ubicazione dell'ara

In generale, l'area si inquadra in un contesto caratterizzato da depositi alluvionali terrazzati di tipo continentale di età da attuale ad antica, geneticamente riconducibili ai sedimenti abbandonati dal corso del fiume Dora Baltea in occasione degli eventi di piena conseguenti alla naturale dinamica del corso d'acqua. Tali depositi sono a loro volta incisi nell'ambito dei più antichi depositi fluviali pleistocenici, estesi diffusamente a nord ed esternamente al sito, costituiti dai sedimenti abbandonati dai corsi d'acqua alimentati dalle acque di fusione degli antichi ghiacciai che un tempo si spingevano fino agli sbocchi delle vallate alpine poste più a Ovest.

Questi ultimi depositi sono posti in posizione rilevata sui precedenti, da cui sono separati da una scarpata la cui altezza è dell'ordine di alcuni metri. Sul terreno tale limite non è sempre individuabile a causa dell'intensa attività agricola che ha localmente modificato quando non completamente obliterato le forme morfologiche originarie. Le diverse superfici di terrazzo sono distinguibili sulla base dell'età, della posizione morfologica e della composizione litologica.

In particolare nell'area si distinguono quattro diverse superfici terrazzate, sovrapposte le une alle altre e di età più antica man mano che ci si allontana dall'asse del corso d'acqua. Il sito ex Sorin si posiziona sulla superficie inferiore più recente e prossima all'alveo.

Nel seguito vengono descritte le principali unità litologiche individuabili. Procedendo dai termini più recenti ai più antichi, si rileva la seguente successione stratigrafica.

5.1 Sistema di Ghiaia Grande

In tale sistema si localizza interamente il sito in esame.

Comprende i sedimenti che costituiscono l'attuale fascia di divagazione e di modellamento della Dora Baltea ed è costituito da ghiaie e ghiaie sabbiose prive di alterazione, moderatamente classate e con struttura "clast supported". La stratificazione è sempre poco percepibile. All'interno delle ghiaie si rinvenivano numerose lenti di sabbie classate a laminazione piano-parallela e incrociata, di potenza decimetrica e di estensione da metrica a decametrica. Le ghiaie presentano un elevato grado di arrotondamento e una natura poligenica. In superficie poggia con un contatto di natura erosiva su una coltre continua e diffusa di sabbie e sabbie limose geneticamente legate ai fenomeni di esondazione della Dora Baltea. Le sabbie hanno una potenza di pochi decimetri e presentano il più delle volte una laminazione piano parallela o incrociata, sebbene localmente l'assenza di strutture sedimentarie conferisca alle sabbie un aspetto massivo.

5.2 Sistema di Crescentino

Tale sistema è esterno a quello di ghiaia Grande, da cui è separato da una scarpata di erosione di altezza metrica. È costituito da ghiaie e ghiaie sabbiose da poco a moderatamente classate con struttura "clast supported" e stratificazione mal espressa. Al loro interno sono presenti sporadiche intercalazioni sabbiose a laminazione piano parallela e talvolta incrociata, di spessore da centimetrico e decimetrico ed estensione fino a decametrica. La frazione ghiaiosa presenta un elevato grado di arrotondamento e una natura poligenica. Il deposito mostra un debole grado di alterazione pedogenetica evidenziato dalla colorazione bruno-giallastra della matrice e dal modesto grado di alterazione di alcuni ciottoli. Le ghiaie sono celate da una coltre di depositi siltosi e siltoso-sabbiosi molto diffusa e di spessore variabile dal decimetro al metro, geneticamente riconducibile ai ripetuti fenomeni di esondazione del Po.

5.3 Sistema di Trino

Rappresenta l'unità esterna alle precedenti, costituita da ghiaie e ghiaie sabbiose da poco a moderatamente classate, con struttura "clast supported" e stratificazione poco evidente. Al loro interno sono presenti sporadiche intercalazioni sabbiose di spessore da centimetrico a decimetrico ed estensione fino a decametrica. I clasti sono arrotondati e di natura molto varia, mentre la matrice fine è caratterizzata da una laminazione piano parallela o incrociata. Il deposito presenta un debole grado di alterazione evidenziato dalla colorazione bruno-giallastra della matrice e dalla presenza in alcuni clasti di un cortex pellicolare. In superficie

è presente una diffusa coltre di copertura di natura siltosa e siltoso-sabbiosa di spessore variabile da decimetrico a metrico geneticamente riconducibile a fenomeni di esondazione fluviale.

5.4 Depositi fluvioglaciali (Fluvioglaciale Riss)

Costituiscono il corpo più esterno e superiore ai precedenti da cui è separato da una scarpata alta 7÷8 m, riferibile ai depositi fluvioglaciali rissiani costituenti il livello fondamentale della pianura. Litologicamente è costituito da ghiaie ciottolose con pezzatura da decimetrica a centimetrica (quest'ultima prevalente), associate ad una frazione sabbiosa e sabbioso-limosa che a tratti diviene prevalente e determina intercalazioni lentiformi omogenee: si origina così una stratificazione di tipo lenticolare, con sviluppo di eteropie e digitazioni. Il grado di alterazione è spinto e interessa pressoché solo i primi decimetri dei livelli sommitali. Al tetto della sequenza ghiaioso-sabbiosa si estende uno strato di potenza mediamente decimetrica, a granulometria fine, di colore grigio-bruno, geneticamente riconducibile a processi di inondazione e di deposito da parte di correnti fluviali caratterizzate da bassa energia.

5.5 Substrato prequaternario

Il complesso quaternario sopra descritto, il cui spessore è dell'ordine di 40 metri, poggia su di un substrato costituito dalle sequenze cronologicamente ascrivibili al Villafranchiano, caratterizzate da una progressiva diminuzione delle frazioni grossolane a vantaggio di quelle più fini, a testimonianza di un passaggio graduale ad un ambiente deposizionale di tipo lacustre-palustre fino a lagunare. Tali depositi sono caratterizzati da una sequenza di sabbie e ghiaie alternate a limi e argille, queste ultime predominanti rispetto ai precedenti. Tali sequenze, nell'ambito dell'area esaminata, presentano una potenza molto variabile, che tende a diminuire fino ad annullarsi spostandosi verso Sud, ovvero verso il piede dell'apparato collinare in destra Po.

Tale situazione è direttamente connessa con l'andamento del sottostante complesso marino pliocenico (sabbie fossilifere in "facies astiana"), il quale si affossa rapidamente verso Nord, dove si riscontra invece la maggior potenza delle sequenze Villafranchiane.

6. ASSETTO STRATIGRAFICO

L'assetto stratigrafico locale è stato ricostruito sulla base delle stratigrafie provenienti da alcuni sondaggi effettuati nell'ambito dell'area in esame e dai dati stratigrafici reperiti negli elaborati tecnici del P.R.G.C. di Saluggia. Procedendo dai termini più recenti ai più antichi (ossia, dai più superficiali ai più profondi), nell'area si rileva la seguente successione.

- Alla quota del piano di campagna e per una profondità dell'ordine di 1.5÷1.8 metri si rileva un livello di limi e limi sabbiosi, più o meno argillificati costituenti l'attuale terreno vegetale. Localmente sono presenti terreno di riporto di varia natura e con potenza non superiore a 0.6 metri
- Inferiormente si estende un complesso omogeneo di natura alluvionale, essenzialmente ghiaioso-sabbioso con lenti e livelli francamente sabbiosi e sabbioso-limosi, la cui potenza si attesta intorno a 20 di metri.

- Al di sotto si rileva un'unità costituita da una regolare alternanza di limi argillosi con livelli ghiaioso-sabbiosi, la cui potenza complessiva è dell'ordine di 40 metri. Questi sedimenti sono ascrivibili alla sequenza di origine fluvio-lacustre di età Villafranchiana.
- A profondità superiori sono presenti caratteristici sedimenti sabbioso-limosi, di colore tipicamente giallognolo, riferibili alla sequenza dei depositi marini del Pliocene in facies Astiana.

In sintesi, la successione stratigrafica sopra descritta può essere riassunta e schematizzata come segue:

- Limo sabbioso più o meno argillificato e/o terreno di riporto
- Ghiaia sabbiosa con lenti francamente sabbiose più o meno limose
- Limo argilloso e argilla con intercalazioni di sabbie e ghiaie
- Sabbie limose fossilifere

In fig. 7 si riporta una sezione litostratigrafica tratta dagli elaborati geologici di P.R.G.C. di Saluggia, in cui è ricostruito lo schema dei rapporti stratigrafici lungo una sezione orientata in senso NNW-SSE, tra l'abitato di Saluggia e l'impianto della ex Teksid a Crescentino.

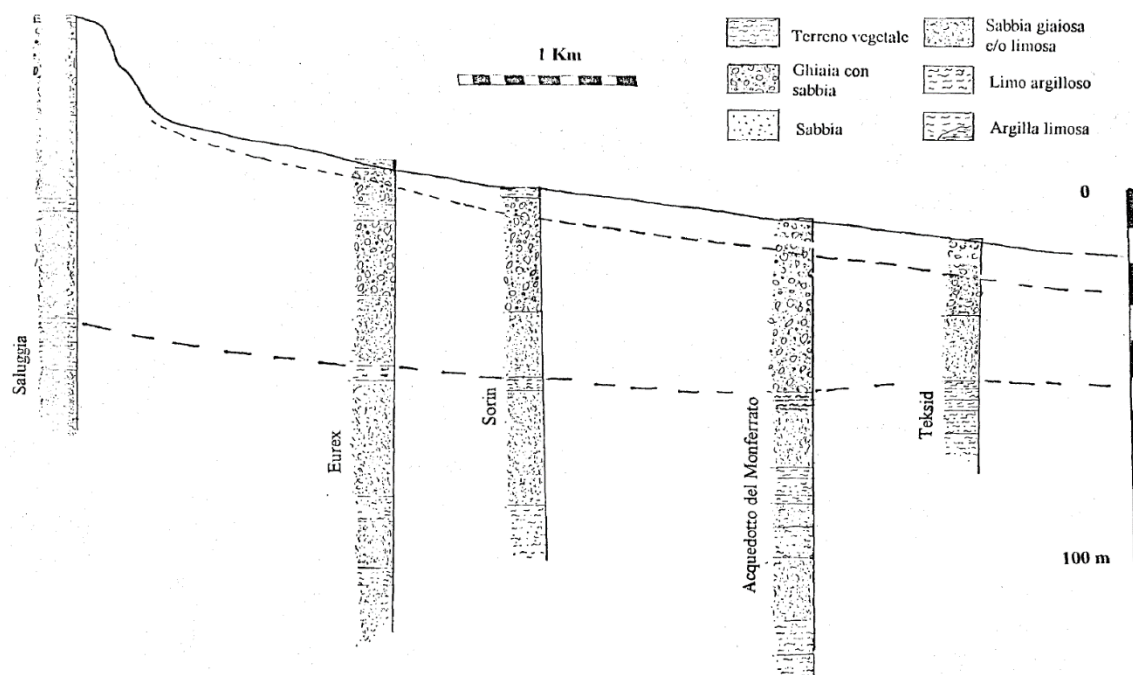


Fig. 7 - Schema dei rapporti stratigrafici nell'area di interesse (tratto dal P.R.G.C. di Saluggia)

Lungo tutto il perimetro esterno del sito ex Sorin, in asse a dove sarà realizzato il nuovo argine, sono state condotte nel novembre 2018 dalla Tecnosuolo S.r.l. di Casatisma (PV) (acquisiti per gentile concessione della società Livanova) 12 sondaggi geognostici spinti fino a 10 m di profondità e altrettante prove penetrometriche dinamiche DPSH. Le stratigrafie emerse dai sondaggi indicano una buona correlabilità dei dati, a dimostrazione che l'assetto litostratigrafico nell'ambito del sito è omogeneo fino alle profondità indagate. In Fig. 8 è riportata, la stratigrafia del sondaggio S1, ubicato in corrispondenza dell'ingresso del sito, che rappresenta a pieno titolo la stratigrafia tipo nei primi 10 m di profondità.

| | | | | | | | |
|---|--|--|--|--------------------------|--|--------------------|--|
| Tecnosuolo s.r.l. 27040 Casatisma (Pv) S.S. Mi-Ge n° 10 Tel. (0383) 891852 Fax (0383) 891847 | | | | COMMITTENTE: LIVANOVA | | SONDAGGIO | |
| | | | | LOCALITA': SALUGGIA (VC) | | N° S1 | |
| INDAGINI GEOGNOSTICHE E GEOTECNICHE | | | | QUOTA INIZIO: p.c. | | DATA 15.11.2018 | |

| profondità strati mt. | p. sezione strati mt. | stratigrafia | n° carotaggio | CAMPIONI | | H ₂ O | DESCRIZIONE LITOLOGICA | K cm/s | P.P. Kg/cmq | S.P.T. | | | NOTE |
|-----------------------------|--------------------------------|--------------|------------------|--------------------------|-----------------------------|------------------|--|-----------|----------------|--------|--|------------------------|------|
| | | | | tipo | profond. mt. | | | | | | | | |
| 0.00 | | | | | | | | | | | | | |
| 0.80 | | | | <input type="checkbox"/> | S1 C.R.1 0.50 1.50 | | Terreno di riporto sabbioso-ghiaioso di colore marrone. | | | | | | |
| 1.50 | | | | | | | Limo sabbioso più o meno argilloso di colore grigiastro. | | | | | m1.00-1.45 2 3 3 | |
| 3.10 | | | | | | | Ghiaie e sabbie con ciottoli subarrotondati poligenici ed eterometrici diam.max. >10cm in abbondante matrice argilloso-limosa di colore grigiastro. | | | | | m3.00-3.45 7 9 9 | |
| 5.70 | | | | <input type="checkbox"/> | S1 C.R.1 3.00 4.00 | | Ghiaie e sabbie medio grossolane con ciottoli subarrotondati poligenici ed eterometrici diam.max. >10cm in abbondante matrice argilloso-limosa di colore grigiastro. | | | | | m5.00-5.45 5 17 24 | |
| 8.30 | | | | | | | Sabbie medio-grossolane con ghiaietto e ghiaia con ciottoli subarrotondati poligenici ed eterometrici diam.max. 2-4cm in abbondante matrice argilloso-limosa di colore marrone. Presenza di intercalazioni decimetriche limoso-sabbiose-argillose (7-7.10/7.30-7.50m). | | | | | m7.00-7.45 12 21 35 | |
| 10.00 | | | | | | | Sabbie medio-grossolane con ghiaietto e ghiaia con ciottoli subarrotondati poligenici ed eterometrici diam.max. 5-7cm in abbondante matrice argilloso-limosa di colore marrone. Presenza di intercalazioni decimetriche di limo argilloso con ciottoli (8.30 e 9.55m). | | | | | | |

| | | | | | | |
|--|--|---------------------------------------|---------------|------------|------------|---------------|
| CAMPIONE: <input type="checkbox"/> Rimaneggiato <input type="checkbox"/> Semidisturbato • Indisturbato | | CASSETTE CATALOGATRICI n° 2 | LIVELLO FALDA | | | |
| | | | DATA | Prof. riv. | Prof. foro | Livello acqua |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |

| | | | | | |
|-----------|-------|---------|----------|----------------|--------------|
| | | | | | |
| ARGILLA | LIMO | SABBIA | GHIAIA | TERRENO VEGET. | TORBA |
| | | | | | |
| ARGILLITE | MARNA | CALCARE | ARENARIA | CONGLOMERATO | ROCCHE IGNEE |

Fig. 8 - Stratigrafia tipo. Sondaggio S1 ubicato in corrispondenza dell'ingresso del sito
La stratigrafia tipo profonda, invece, è riportata in Fig. 9, che evidenzia la sequenza stratigrafica anche nell'ambito delle assise Villafranchiane e Plioceniche sottostanti il materasso alluvionale quaternario.

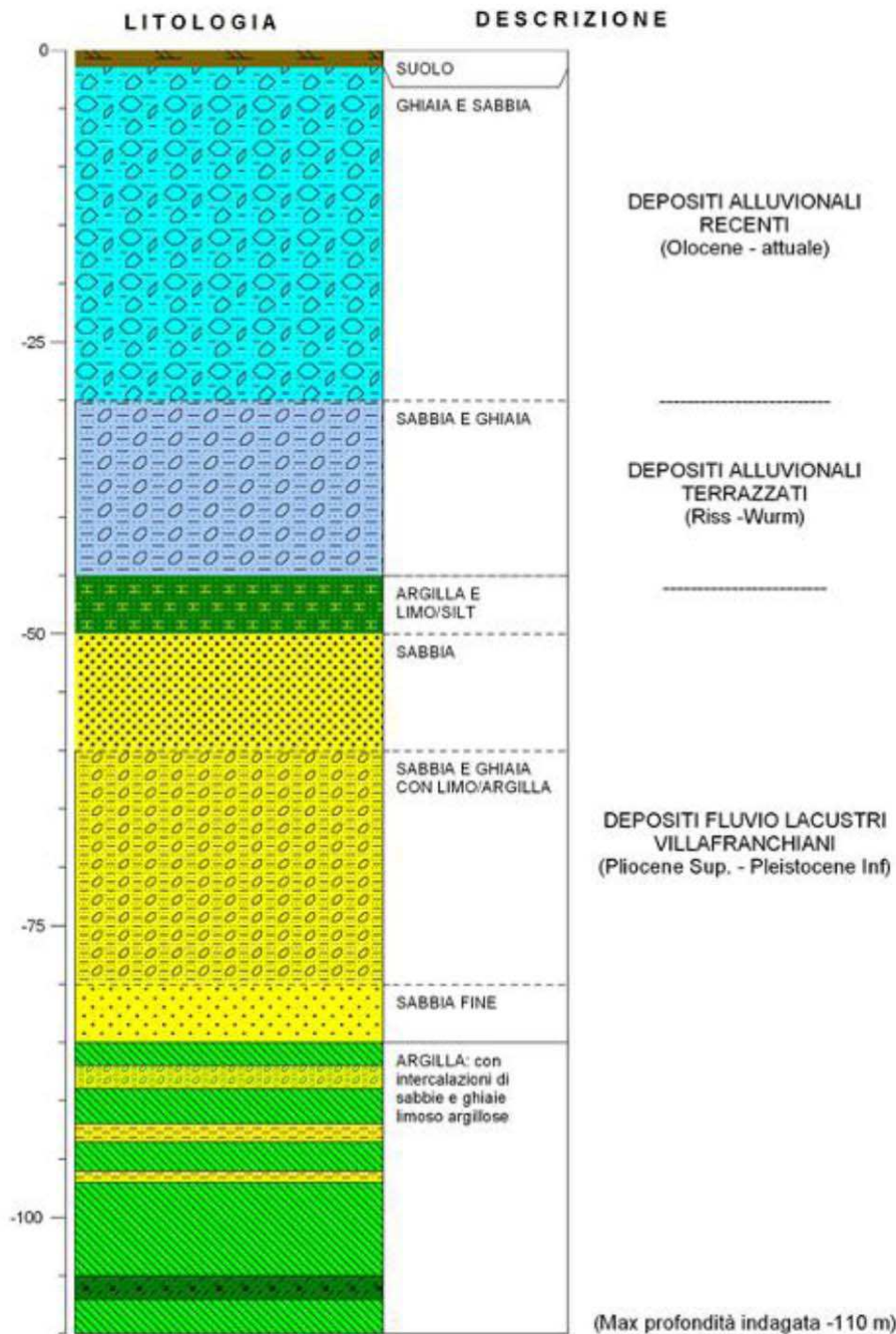


Fig. 9 - Stratigrafia tipo delle sequenze profonde - tratto da "Prefettura di Vercelli, Piano di emergenza esterna Area Sito EUREX Saluggia"

7. ASSETTO IDROGEOLOGICO

L'area del sito ex Sorin è inserita, dal punto di vista idrogeologico, nella fascia pedemontana della Pianura Piemontese. Questo settore, estremamente ricco d'acqua, è caratterizzato dalla presenza di due sistemi idrogeologici principali: uno relativo all'acquifero superficiale veicolato nel complesso alluvionale quaternario ed uno agli acquiferi profondi ubicati nel complesso Villafranchiano pleistocenico.

Con riferimento al quadro litostratigrafico tratteggiato in precedenza, nel seguito vengono descritti i diversi sistemi acquiferi individuati, il cui comportamento idrogeologico è distinto.

7.1 I depositi fluvioglaciali e alluvionali

Sebbene le due unità litologiche presentino caratteri tessiturali distinguibili, dal punto di vista idrogeologico possono essere considerate come un'unica unità idrogeologica in grande.

Infatti, i depositi fluvioglaciali e le alluvioni sono entrambi costituiti da uno scheletro litoide a granulometria grossolana con frazione fine sabbioso-limosa talora prevalente, costituendo nel complesso un unico, continuo e potente sistema acquifero. Tale acquifero presenta una permeabilità per porosità di grado da medio a elevato, corrispondente ad un valore medio del coefficiente di permeabilità K dell'ordine di 10^{-3} m/s. Essi ospitano una falda idrica di tipo freatico (ossia non limitata superiormente) molto produttiva.

7.2 I depositi Villafranchiani

La sequenza di alternanze limoso-ghiaiose costituisce un complesso idrogeologico ben individuabile. Gli strati ghiaiosi presentano una permeabilità per porosità di grado medio e sono sede di falde acquifere profonde limitate al tetto ed alla base dai livelli a granulometria fine che fungono da setti impermeabili. Nel complesso si configura un sistema idrogeologicamente molto produttivo, costituito di più falde in pressione, tra loro isolate (almeno a scala locale). La potenza di tale sistema acquifera nell'area è dell'ordine di una quarantina di metri.

7.3 I sedimenti basali sabbioso-limosi

I sedimenti marini del Pliocene, sono poco permeabili e, pertanto, idrogeologicamente scarsamente produttivi. In tale contesto vi è comunque l'opportunità di rinvenire falde molto profonde, contenute nell'ambito delle intercalazioni maggiormente permeabili in cui prevale la granulometria francamente sabbiosa.

7.4 Le unità idrogeologiche principali

In sintesi, come già accennato, sulla base delle considerazioni sopra esposte è possibile individuare due unità idrogeologiche fondamentali riconducibili ad altrettanti acquiferi produttivi: l'una superiore e l'altra inferiore. Peraltro, il mancato reperimento in quest'area di sicure prove di un isolamento continuo tra il materasso alluvionale e le intercalazioni sabbioso-limose sommitali della sequenza villafranchiana, induce a pensare che

l'uno e le altre possano talora costituire un unico acquifero, il cui limite inferiore verrebbe a localizzarsi all'interno della sequenza fluvio-lacustre.

L'unità superiore

È compresa nell'ambito dei depositi fluvioglaciali e alluvionali, che costituiscono nel complesso un acquifero unico e continuo, potente una ventina di metri, localmente compartimentato per la presenza di lenti e livelli sabbioso-argilloso poco permeabili che comunque consentono sempre condizioni di intercomunicabilità tra le varie sequenze sature. Nell'insieme l'acquifero è contraddistinto da una permeabilità per porosità media ed ospita una falda freatica estesa praticamente su tutta l'area di pianura, la cui superficie piezometrica si attesta ad una profondità variabile da pochi metri a un massimo di 20, in funzione della posizione delle varie superfici terrazzate individuate.

L'unità inferiore

Comprende un sistema di acquiferi produttivi ubicato all'interno della sequenza villafranchiana profonda. La presenza di intercalazioni limoso argillose caratterizzate da un grado di permeabilità pressoché nullo determina un locale confinamento della falda idrica ospitata negli orizzonti ghiaioso-sabbiosi. Ne risulta quindi un sistema multifalde di tipo artesiano o semiartesiano in cui i diversi acquiferi sono, a grande scala, in contatto idraulico tra loro e formano un unico potente complesso molto produttivo limitato inferiormente dai depositi pliocenici.

7.5 Considerazioni sulle falde idriche e misure piezometriche

L'alimentazione delle falde idriche contenute nelle due unità individuate è riconducibile principalmente all'infiltrazione diretta delle acque di precipitazione meteorica e, in seconda misura, dalle perdite di subalveo della rete idrografica di superficie.

L'infiltrazione delle acque meteoriche è in generale favorita dalla permeabilità dei depositi fluvioglaciali e alluvionali; dove invece sono presenti suoli impermeabili posti a copertura di tali depositi, l'infiltrazione superficiale risulta essere drasticamente ridotta.

Per la valutazione della profondità della superficie piezometrica si è fatto riferimento a correlazioni topografiche di terreno rispetto all'alveo ordinario della dora e sono stati consultati i seguenti documenti e cartografie disponibili:

- Provincia di Torino - Area Ambiente, Parchi, Risorse Idriche e Tutela della Fauna - *“La soggiacenza della falda freatica nell'ambito provinciale”*;
- Provincia di Torino e Università degli Studi di Torino Dip. di Scienze della Terra - *“Le acque sotterranee della pianura di Torino”*;
- Regione Piemonte, Direzione Pianificazione Risorse Idriche - *“Idrogeologia della Pianura Piemontese”*;
- Comune di Saluggia, Variante Geneale n. 168 - *“Carta Geoidrologica”*;
- Sogin S.p.A., *“Studi idrogeologici per il monitoraggio radiologico della falda superficiale nel sito Eurex di Saluggia (VC)”* - Iezzi S., Imperi M., Rosati M., Ventura G.

I dati di terreno e quelli bibliografici citati sono concordi nell'individuare una soggiacenza della falda freatica nell'area ex Sorin compresa tra 2÷3 m dal piano campagna in condizioni ordinarie.

Tali valori si riferiscono ad un dato cosiddetto di “magra”, corrispondente a un periodo stagionale caratterizzato da scarsa ricarica del sistema acquifero e quindi dal suo progressivo svuotamento.

Nel periodo tardo primaverile si registra invece una naturale risalita del livello piezometrico, coincidente con il ciclo di ricarica del sistema dovuto agli apporti delle precipitazioni meteoriche che caratterizzano tale stagione

e allo scioglimento delle nevi in montagna. Sulla base dell'esperienza maturata in contesti analoghi e dei dati stagionali disponibili è possibile attribuire alle oscillazioni stagionali del livello piezometrico un valore dell'ordine di $1.0 \div 1.5$ metri. Nei periodi cosiddetti “di morbida” ci si deve quindi aspettare una risalita del livello piezometrico fino a circa 1.0 m dal piano campagna.

Inoltre, la soggiacenza della falda freatica è anche soggetta alle oscillazioni connesse alle portate della Dora Baltea che, in caso di fenomeni alluvionali di elevata intensità e durata, può determinare un ulteriore innalzamento del livello piezometrico fino al piano campagna.

7.6 Andamento dei deflussi sotterranei

Per quanto riguarda la direzione principale di deflusso delle acque sotterranee, questa è orientata in senso NNW-SSE, anche se localmente si riscontrano variazioni di direzione legate a fattori litologici. Tale direzione di flusso è in accordo sia con l'andamento morfologico dominante che con il corso della rete idrografica principale.

In Fig. 10 è riportata la carta piezometrica tratta da: Sogin S.p.A., “Studi idrogeologici per il monitoraggio radiologico della falda superficiale nel sito Eurex di Saluggia (VC)”.

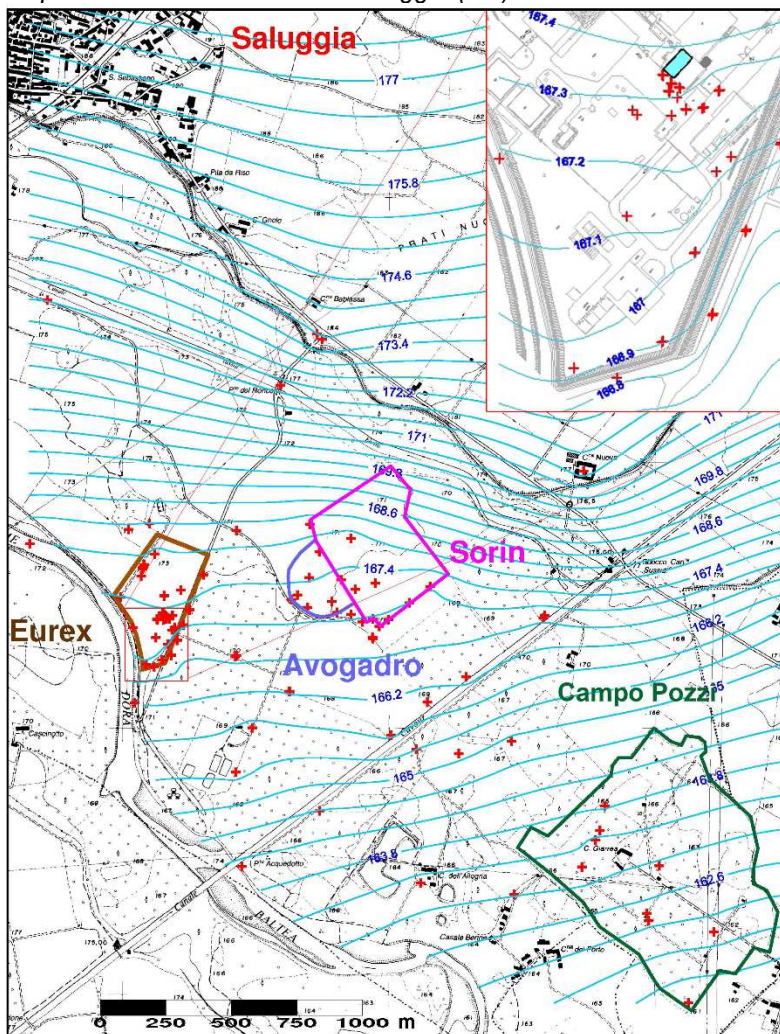


Fig. 10 - Carta piezometrica. Tratto da Sogin S.p.A., “Studi idrogeologici per il monitoraggio radiologico della falda superficiale nel sito Eurex di Saluggia (VC)” - misure di maggio 2008.

L’analisi delle linee isopiezometriche (punti della superficie della falda idrica posti alla medesima quota) riportate nella cartografia di Fig. 10 evidenzia come l’equidistanza tra le tali linee sia variabile nell’ambito del sito ex Sorin, indicando che la pendenza della tavola d’acqua presenta delle disuniformità locali legate a variazioni del valore medio della conducibilità idraulica e della velocità di deflusso.

L’andamento delle isopieze rispetto all’asse della Dora Baltea indica l’azione drenante del corso d’acqua rispetto alla falda. Tale condizioni può venire meno durante gli eventi di piena, quando il flusso si può invertire determinando l’alimentazione della falda da parte del fiume.

8. STABILITA' DELL'AREA

Per la sua naturale conformazione l’area non è coinvolgibile in fenomeni dissestivi legati alla dinamica di versante. Per quanto riguarda la dinamica fluviale, la posizione morfologica dell’area, rilevata di soli 2÷3 m rispetto all’alveo della Dora Baltea, fa sì che siano individuabili significativi rischi connessi a fenomeni di inondazione. Inoltre, ulteriori condizioni di instabilità sono riconducibili alla scarsa profondità della falda freatica che in occasione di eventi di piena del corso d’acqua di carattere eccezionale può raggiungere facilmente il piano campagna.

Durante i sopralluoghi effettuati, sono state riscontrate evidenze dei trascorsi fenomeni di inondazione da parte delle acque della Dora.

Il territorio comunale di Saluggia è stato interessato, nell’ultimo secolo, da alcuni eventi alluvionali di notevole entità; i principali eventi registrati, con le relative portate al colmo della Dora Baltea registrate alle stazioni indicate, sono elencati nella tabella seguente.

| Anno | Portata (m3/s) | Stazione | TR (anni) |
|------|----------------|------------|-----------|
| 1948 | 1467 | Mazzè | 20 |
| 1957 | 1227 | Mazzè | 10 |
| 1977 | 1687 | Mazzè | 50 |
| 1993 | 2125 | Mazzè | 200 |
| 1994 | 2144 | Mazzè | 200 |
| 2000 | 3100 | Tavagnasco | >200 |

Integrando le informazioni derivanti dai monitoraggi idrologici con le simulazioni modellistiche, nell’ambito dello Studio di fattibilità (AdbPo, 2004), è stata prodotta una descrizione complessiva dell’evento del 13-16 ottobre 2000 in esito alla quale la portata stimata a Saluggia per tale evento è pari a circa 3000 m³/s, corrispondente, in termini statistici, a un tempo di ritorno di poco superiore a 200 anni,

Durante tale evento le acque di piena della Dora Baltea a monte di Saluggia hanno estesamente interessato tutte le aree golenali fino all’orlo del terrazzo più esterno che delimita il complesso fluvio-glaciale rissiano.

Durante l’evento alluvionale le acque di piena che hanno comportato il parziale allagamento sia del sito ex Sorin provenivano sia da monte (in particolare dalla rottura della sponda destra del Canale Farini) sia dalle acque di esondazione provenienti direttamente dall’alveo della Dora Baltea.

I tiranti osservati nelle porzioni allagate del sito ex Sorin sono stati compresi tra 30 e 50 cm, 10 cm sulla strada esterna alla recinzione lato Sud, come indicato nei servizi webgis dell’Arpa Piemonte (2017), di cui si riporta uno stralcio in Fig. 11.



Fig. 11 - Aree allagate nel sito ex Sorin durante l'Alluvione dell'ottobre 2000 (Arpa Piemonte, 2017)

8.1 La Direttiva 2007/60/CE (Direttiva alluvioni)

La Direttiva 2007/60/CE, recepita con D.lgs. 49/2010, ha imposto alle Autorità di bacino distrettuali di redigere i Piani di gestione del rischio di alluvioni (PGRA), al fine di evidenziare il rischio per la salute umana, il territorio, l'ambiente e le attività economiche e sociali, derivanti dalle alluvioni. Nell'ambito dei Piani di gestione sono affrontati, a scala di distretto idrografico, gli aspetti legati ai fenomeni alluvionali, definendo il quadro della pericolosità e del rischio, gli interventi (strutturali e non) da attuare sul territorio per la riduzione del rischio, nonché le misure per la gestione delle emergenze da rischio idraulico ai fini di protezione civile.

La Fig. 12 riporta lo scenario di pericolosità legata a fenomeni di inondazione aggiornato a maggio 2016, tratto dalla *"Carta di pericolosità da alluvione"* - Tavola 136SW.

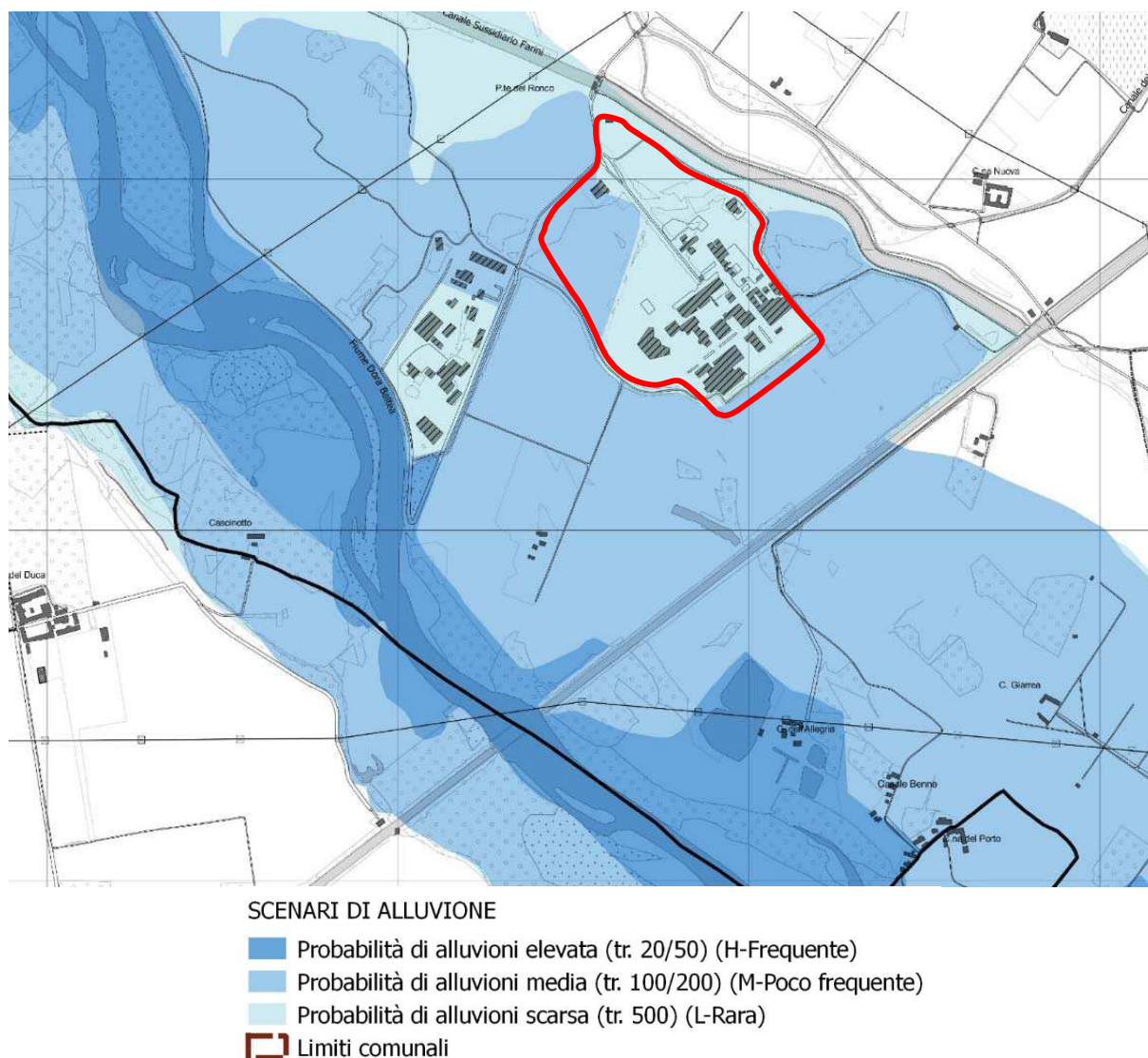


Fig. 12 - Stralcio dalla “Carta di pericolosità da alluvione”. Tavola 136SW. Direttiva 2007/60/CE

8.2 Gli elaborati del P.R.G.C. di Saluggia

Gli elaborati geologici a corredo dei P.R.G.C. di Saluggia, in particolare la “Carta di sintesi della pericolosità geologica e dell’idoneità all’utilizzazione urbanistica”, che suddivide l’intero territorio comunale in classi di pericolosità geomorfologica crescente, comprende il sito nella “Classe IIIb2”, che individua le “porzioni di territorio urbanizzate nella quale gli elementi di pericolosità geologica e di rischio sono tali da imporre in ogni caso interventi di riassetto territoriale di carattere pubblico”. In particolare, tale classe perimetra gli “ambiti il cui utilizzo è condizionato alle realizzazione di analisi e di valutazione del rischio che devono tenere conto del quadro della pericolosità, da definirsi in accordo ai contenuti della DGR 2-11830 del 28.07.2009 (Allegato B, punti 2, 3, 11), ciò in relazione al mutato stato dei luoghi, con particolare riferimento alla realizzazione degli interventi di mitigazione del rischio realizzati (opere idrauliche di difesa ed eventuali interventi di mitigazione

della vulnerabilità degli insediamenti esistenti, di cui è necessaria una valutazione sull'efficienza e sull'efficacia), anche sulla base delle prescrizioni contenute nella Deliberazione del Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino del fiume Po n. 15 del 31 luglio 2003. Tale analisi potrà definire ambiti per i quali sussistono condizioni di rischio minimizzati, per i quali sono possibili gli usi secondo quanto indicato nelle schede di prescrizione normativa di PRGC e gli ambiti per i quali è necessario ancora provvedere al completamento delle opere di riassetto territoriale per il raggiungimento della minimizzazione delle condizioni di rischio e che in assenza dei quali saranno possibili unicamente interventi di manutenzione degli edifici esistenti. In assenza di tale analisi saranno possibili unicamente interventi di manutenzione degli edifici esistenti e di adeguamento di legge.

La Fig. 13 riporta uno stralcio della “Carta di sintesi della pericolosità geologica e dell' idoneità all'utilizzazione urbanistica”, in cui sono riportate le classi di pericolosità geologica e le Fasce Fluviali previste dal PAI.

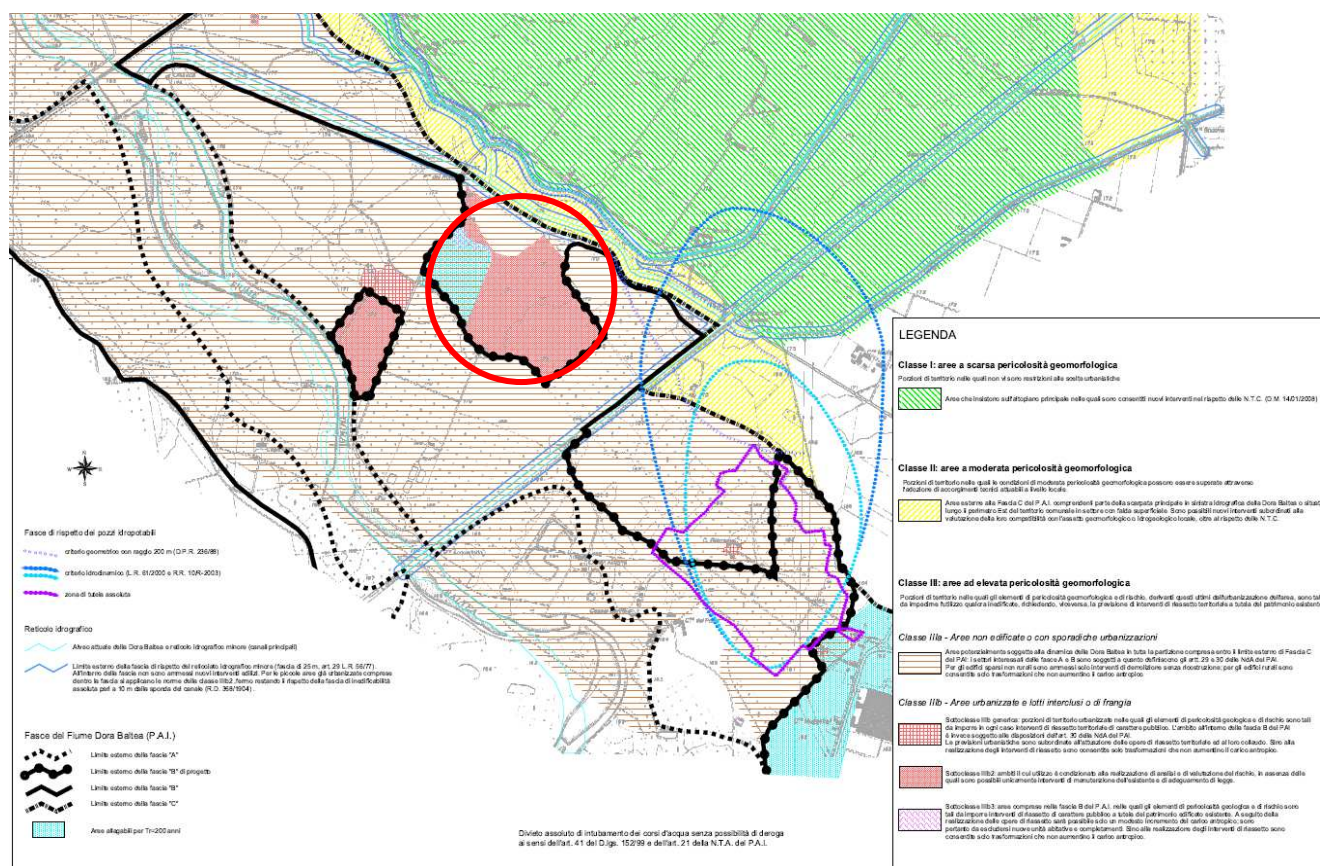


Fig. 13 - Stralcio della “Carta di sintesi della pericolosità geologica e dell' idoneità all'utilizzazione urbanistica” - PRGC Saluggia. In rosso l'ubicazione del sito.

Anche la “Carta geomorfologica e del reticolo idrografico minore” evidenzia gli effetti connessi alla piena della Dora Baltea occorsa nel mese di ottobre 2000 e i danni conseguenti. La cartografia, di cui si riporta uno stralcio nella Fig. 14, evidenzia le aree allagate, i punti di esondazione, le rotte arginali, la direzione dei deflussi idrici e le altezze idrometriche misurate durante l'evento alluvionale.

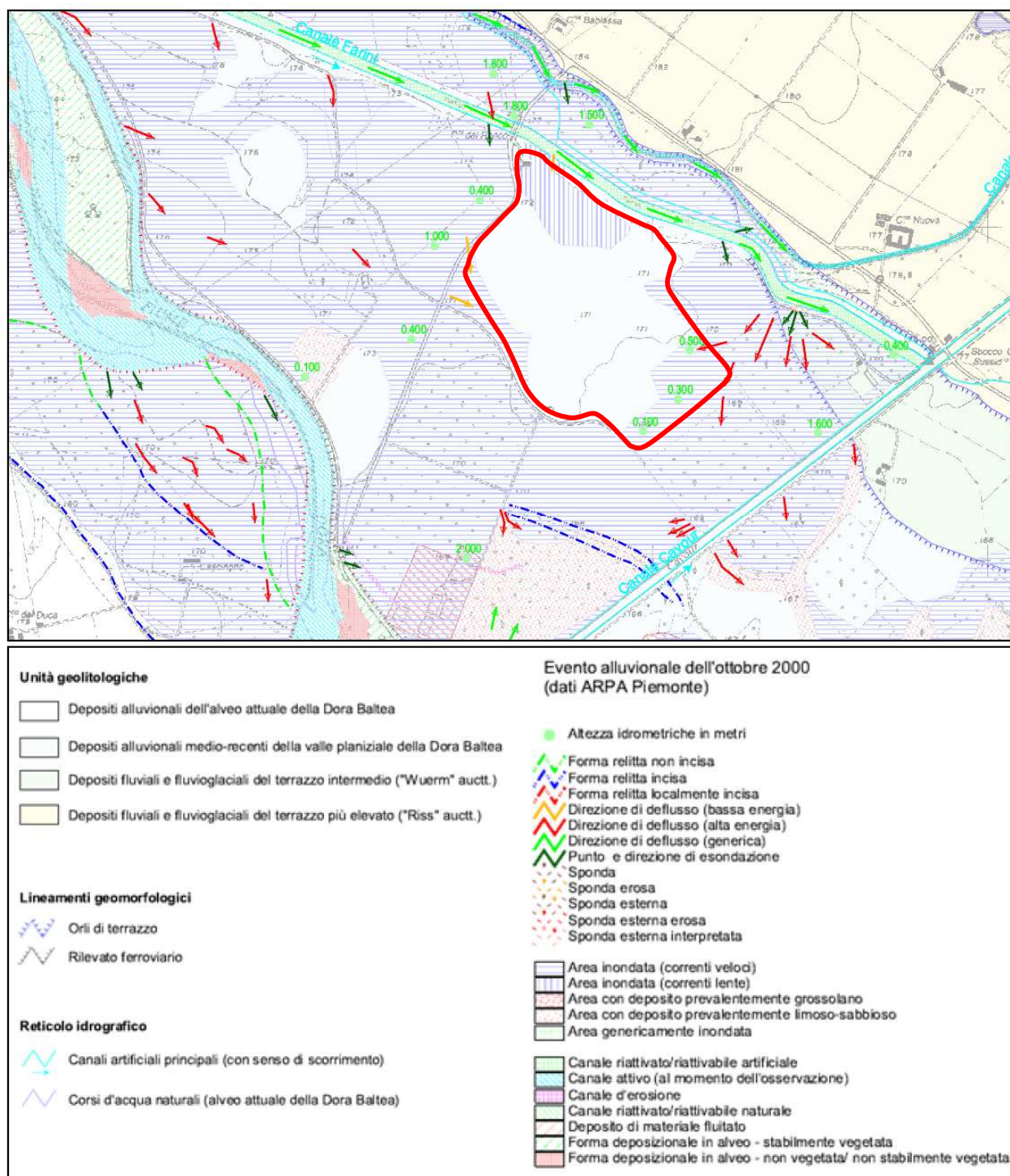


Fig. 14 - Stralcio dalla "Carta geomorfologica e del reticolo idrografico minore" - PRGC Saluggia. In rosso l'ubicazione del sito

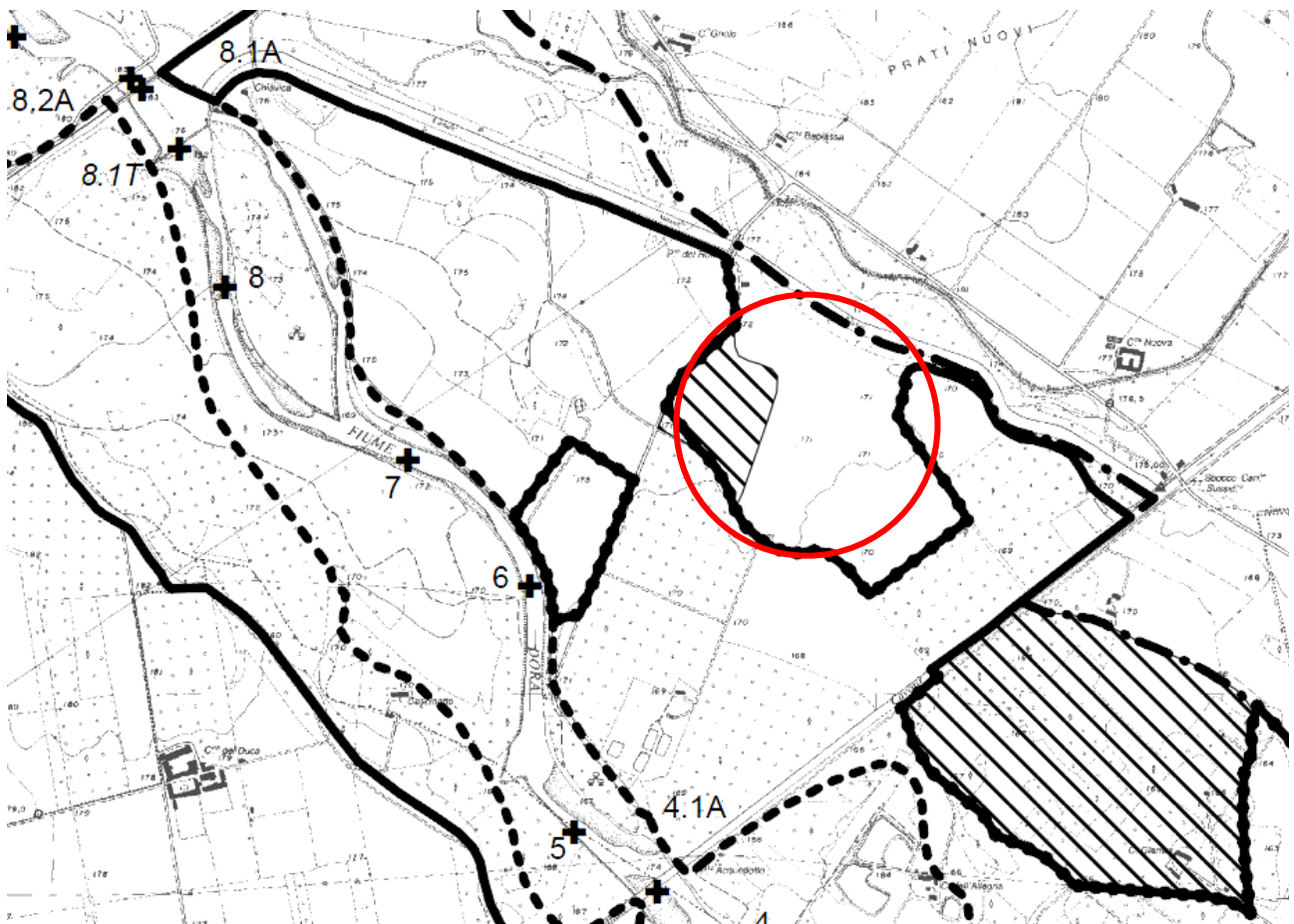
8.3 Il Piano per l'Assetto Idrogeologico (PAI)

Nel tratto di interesse, il F. Dora Baltea è caratterizzato dalla presenza delle Fasce Fluviali dell'Autorità di Bacino del Fiume Po, rappresentate sulla Tavola di delimitazione delle fasce fluviali Foglio 136 Sez. III – Livorno Ferraris Dora Baltea 02 del Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI).

L'articolazione delle fasce fluviali è la seguente:

- la fascia di deflusso della piena (Fascia A), costituita dalla porzione di alveo nella quale defluisce almeno l'80% della portata avente tempo di ritorno di 200 anni;
- La fascia di esondazione (Fascia B), esterna alla precedente, costituita dalla porzione di territorio interessata da inondazione al verificarsi della piena con tempo di ritorno di 200 anni. Il limite di tale fascia si estende fino al punto in cui le quote naturali del terreno sono superiori ai livelli idrici corrispondenti alla piena di riferimento, ovvero sino alle opere idrauliche esistenti o programmate di controllo delle inondazioni (argini o altre opere di contenimento);
- L'area di inondazione per piena catastrofica (Fascia C), costituita dalla porzione di territorio esterna alla precedente (Fascia B), che può essere interessata da inondazione al verificarsi di eventi di piena più gravosi di quella di riferimento. Si assume come portata di riferimento la massima piena storicamente registrata, se corrispondente a un tempo di ritorno superiore a 200 anni, o in assenza di essa, la piena con tempo di ritorno di 500 anni.

La Fig. 15 riporta uno stralcio del PAI nella zona di interesse ed illustra quanto sopra.








| | |
|---|---|
|  | limite (*) tra la Fascia A e la Fascia B |
|  | limite (*) tra la Fascia B e la Fascia C |
|  | limite (*) esterno della Fascia C |
|  | limite (*) di progetto tra la Fascia B e la Fascia C |
| Elementi conoscitivi | |
|  | area inondabile per eventi della piena di riferimento in assenza dell'intervento di realizzazione del limite del progetto (solo per i corsi d'acqua per i quali è disponibile lo specifico approfondimento) |

Fig. 15 - Stralcio dal Foglio 136 Sez. III - Livorno Ferraris Dora Baltea 02 - PAI. Il cerchio rosso individua l'area di interesse

8.4 Dinamica del F. Dora Baltea

Dal punto di vista fisiografico, l'area appartiene al settore terminale del bacino del F. Dora Baltea, pochi chilometri a monte della confluenza nel F. Po, dove il corso d'acqua, con decorso NNW-SSE, incide i depositi alluvionali olocenici e quelli fluviali rissiani. Tali incisioni sono evidenziate da altrettante superfici di terrazzo poste a quote degradanti verso l'asta fluviale e separate le une dalle altre da scarpate che testimoniano la tendenza erosiva del corso d'acqua che ha portato all'approfondimento dell'alveo attraverso successive riprese intervallate a momentanee stasi. Nell'insieme si individua un canale di deflusso unicursale di tipo blandamente sinuoso, caratterizzato da erosioni spondali diffuse. Inoltre, è evidente un processo attivo attraverso il quale il corso d'acqua espleta le proprie tendenze erosive modificando nel tempo il proprio assetto planaltimetrico, distinguendo settori dove più facilmente potranno verificarsi fenomeni esondativi e di erosione accelerata in concomitanza degli eventi di piena più significativi.

Il tratto di Dora Baltea nel tratto prossimo al sito ex Sorin mostra dinamiche evolutive pesantemente condizionate dagli interventi antropici, i quali, oltre a limitare o impedire le naturali divagazioni dell'alveo, comportano trasformazioni del corso d'acqua che reagisce, riequilibrandosi, specie nel corso di eventi di piena con portate straordinarie od eccezionali. Durante l'evento alluvionale del 2000, infatti, si è verificata una riduzione della capacità di trasporto solido in corrispondenza dei tanti attraversamenti, con conseguente deposizione di sedimenti, l'aumento di quota dell'alveo e di quella del pelo libero delle acque, facilitando così l'esondazione di queste ultime.

Nella Fig. 16 si riporta l'evoluzione storica dell'alveo della Dora Baltea e i paleoalvei riattivabili in funzione dei tempi di ritorno delle piene, tratta dallo *"Studio di fattibilità della sistemazione idraulica del fiume Dora Baltea nel tratto da Aymavilles alla confluenza Po"*.



Legenda



Delimitazione zone in erosione laterale probabile a 20-50 anni



Evidenze di transito di correnti veloci (solchi di erosione, depositi orientati)

Paleoalvei e lanche connessi all'ambiente fluviale



Riattivabili per eventi di piena con $Tr < 50$ anni



Riattivabili per eventi di piena con $Tr 50-200$ anni



Riattivabili per eventi di piena con $Tr > 200$ anni



Non riattivabili

Evoluzione storica dell'alveo



Alveo "full banks" anno 2001



Alveo di magra anno 2001



Alveo "full banks" anno 1995



Alveo di magra anno 1995



Alveo "full banks" anno 1990



Alveo di magra anno 1990



Alveo "full banks" anno 1882



Alveo di magra anno 1882



Area allagabile per $TR=200$ anni



Fascia di mobilità massima storica



Fascia di divagazione massima compatibile



Limiti fascia di deflusso
80% QTR=200 anni



Limiti fascia di deflusso
 $v > 0.4$ m/sec

Opere in alveo



Opere di difesa longitudinali



Opere trasversali



Argini

Fig. 16 - Stralcio dallo "Studio di fattibilità della sistemazione idraulica del fiume Dora Baltea nel tratto da Aymavilles alla confluenza Po". In rosso l'area in esame

9. CARATTERIZZAZIONE SISMICA

L'azione sismica di progetto in base alla quale valutare il rispetto dei diversi stati limite che si prendono in considerazione, viene definita dal D.M. 17.01.2018 partendo dalla *"pericolosità di base"* del sito di interesse, che è appunto l'elemento essenziale di conoscenza per la determinazione dell'azione sismica.

Le pericolosità sismica di base di un sito è descritta dalla probabilità che in un fissato lasso di tempo (*"periodo di riferimento"* V_R espresso in anni) nel sito si verifichi un evento sismico di entità almeno pari ad un valore prefissato; la probabilità è denominata *"Probabilità di eccedenza o di superamento nel periodo di riferimento"* P_{VR} .

La pericolosità sismica è definita:

- in termini di accelerazione orizzontale massima attesa a_g in condizioni di campo libero su un sito di riferimento rigido (categoria A), con superficie topografica orizzontale (categoria T1);
- ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione $S_e(T)$, con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza P_{VR} nel periodo di riferimento V_R .

Ai fini del D.M. 17.01.2018 le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR} , a partire dai valori dei seguenti parametri spettrali, validi per un sito di riferimento rigido orizzontale:

a_g : accelerazione orizzontale massima al sito (g è l'accelerazione di gravità)

F_0 : valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale

T^*C : periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale

Partendo dalle seguenti coordinate (UTM-WGS84) del comune di Saluggia:

| Long. (°) | Latit. (°) |
|-----------|------------|
| 8.011 | 45.238 |

e in relazione alle informazioni disponibili nel reticolo di riferimento riportato nella Tab. 1 dell'Allegato B del D.M. 14.01.2008, così come previsto dal Cap. 3.2 del D.M. 17.01.2018, sono stati determinati i seguenti parametri spettrali per i 9 periodi di ritorno T_R di riferimento:

| Media dei valori dei parametri dei 4 punti per la località in esame | T_R | a_g | F_0 | T^*C |
|--|--------|--------|-------|--------|
| | [anni] | [g/10] | [adm] | [s] |
| | 30 | 0.166 | 2.61 | 0.16 |
| | 50 | 0.203 | 2.59 | 0.17 |
| | 72 | 0.234 | 2.56 | 0.20 |
| | 101 | 0.263 | 2.64 | 0.21 |
| | 140 | 0.292 | 2.64 | 0.22 |
| | 201 | 0.323 | 2.64 | 0.24 |
| | 475 | 0.396 | 2.65 | 0.26 |
| | 975 | 0.469 | 2.67 | 0.28 |
| | 2475 | 0.567 | 2.72 | 0.29 |

Come già detto, i valori dei parametri a_g , F_0 e T^*C determinati sono relativi a situazioni geologiche corrispondenti ad un sito con assenza di effetti locali dei terreni, ossia con presenza di substrato sismico affiorante o subaffiorante ed in condizioni morfologiche pianeggianti. In mancanza di determinazioni specifiche

finalizzate alla valutazione della risposta sismica locale, è necessario modificare la forma spettrale calcolata attraverso i seguenti coefficienti di amplificazione: S_s (coeff. stratigrafico), S_T (coeff. topografico) e C_c che modifica il valore del periodo T_c . Tali coefficienti dipendono a loro volta dalla categoria del sottosuolo e da quella topografica del sito (vedi § 9.1 e § 9.2).

Per la definizione degli spettri di risposta è inoltre necessario definire anche la “vita nominale” (V_N) e la “classe d’uso” dell’opera strutturale. La vita nominale V_N dipende dal “tipo di costruzione” ed è intesa come il numero di anni nel quale la struttura deve poter essere usata per lo scopo al quale è destinata; la classe d’uso è relativa alla tipologia di utilizzo e alle conseguenze di un eventuale interruzione dello stesso.

9.1 Categoria del sottosuolo

In assenza di misure dirette della risposta sismica locale, la categoria di sottosuolo può essere ricavata mediante un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio V_{seq} . Tale parametro si ottiene calcolando la media pesata delle velocità delle onde S negli strati nei primi metri di profondità dal piano di posa della fondazione. Nel caso di profondità del substrato (definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_s non inferiore a 800 m/s) superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio V_{seq} è definita dal parametro V_{s30} . I valori di V_{seq} possono essere ottenuti mediante specifiche prove oppure, limitatamente all’approccio semplificato, sono valutati tramite adeguate relazioni empiriche con i risultati di altre prove in sito, quali ad esempio le prove penetrometriche.

Nel caso in esame, gli elementi distintivi dell’unità litologica costituente il piano di posa del nuovo argine (complesso superficiale) sono così riassumibili, sulla base dei risultati delle indagini svolte e delle prove penetrometriche SCPT eseguite:

- profondità substrato > 30 m
- terreni a grana fine mediamente addensati
- valore stimato di V_{seq} dell’ordine di 250 m/s

In base a quanto riportato nella Tab. 3.2.II del D.M. 17.01.2018, i terreni in esame appartengono alla **CATEGORIA C** (“*Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s*”).

9.2 Categoria topografica

In caso di condizioni topografiche lineari la categoria del sito si determina in base alle indicazioni riportate nella Tab. 3.2.IV del D.M. 17.01.2018. Nel caso in esame, il sito appartiene alla **CATEGORIA T1**, corrispondente a “*superfici pianeggianti, pendii e rilievi isolati con inclinazione media <15°*”.

9.3 Vita nominale e classe d’uso

Le opere in progetto possono essere classificate tra le costruzioni di **TIPO 3** a cui appartengono le “*Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica*” (Tab. 2.4.I del D.M. 17.01.2018). A tale tipologia di opera corrisponde una $V_N \geq 50$ anni. La classe d’uso si ritiene essere la **CLASSE IV**, che individua le “*Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente*”.

pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al D.M. 5 novembre 2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica".

9.4 Definizione degli spettri orizzontali e verticali

Per la definizione degli spettri di risposta elastici si è utilizzato il foglio di calcolo "Spettri-NTC ver. 1.0.3", che ha permesso di calcolare il valore dei parametri di cui sopra, riportati nelle tabelle che seguono.

| § 2.4 - D.M. 17.01.2018 | | |
|-------------------------|-----|--------|
| V_N | 100 | [anni] |
| Classe | IV | |
| C_U | 2.0 | [adm] |
| V_R | 200 | [anni] |

| Stratigrafia - Topografia | | | |
|---------------------------|-----|-------|--|
| Cat. sottosuolo | | C | |
| Cond. topografia | | T1 | |
| S_T | 1,0 | [adm] | |

| Dissipaz. convenz. | |
|--------------------|--------|
| ξ | η |
| [adm] | [adm] |
| 5,0% | 1,00 |

| Valori costanti per spettro verticale | | | |
|---------------------------------------|-----------|-----------|-----------|
| $S_{s,v}$ | $T_{B,v}$ | $T_{C,v}$ | $T_{D,v}$ |
| [adm] | [s] | [s] | [s] |
| 1,0 | 0,05 | 0,15 | 1,00 |

| Valori per spettro in spostamento | |
|-----------------------------------|-------|
| T_E | T_F |
| [s] | [s] |
| 6,0 | 10,0 |

| § 3.2.1 - D.M. 17.01.2018 | | | |
|---------------------------|-----|----------|--------|
| | | P_{VR} | T_R |
| | | [adm] | [anni] |
| SLE | SLO | 81% | 120 |
| | SLD | 63% | 201 |
| SLU | SLV | 10% | 1898 |
| | SLC | 5% | 2475 |

| Valori interpolati | | |
|--------------------|-------|---------|
| a_g | F_0 | T_c^* |
| [g/10] | [adm] | [s] |
| 0.278 | 2.64 | 0.22 |
| 0.323 | 2.64 | 0.24 |
| 0.537 | 2.71 | 0.29 |
| 0.567 | 2.72 | 0.29 |

| Valori ricavati da a_g , F_0 , e T_c^* | | | | | | |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| S_s | C_c | S | T_B | T_C | T_D | F_v |
| [adm] | [adm] | [adm] | [s] | [s] | [s] | [adm] |
| 1.80 | 2.69 | 1.80 | 0.19 | 0.58 | 1.71 | 0.59 |
| 1.80 | 2.55 | 1.80 | 0.20 | 0.61 | 1.73 | 0.64 |
| 1.80 | 2.32 | 1.80 | 0.22 | 0.67 | 1.81 | 0.85 |
| 1.80 | 2.30 | 1.80 | 0.23 | 0.68 | 1.83 | 0.87 |

Dove tutti simboli sono già stati definiti ad eccezione di:

V_R : periodo di riferimento

C_U : coefficiente d'uso, legato a V_R e V_N dalla relazione $V_R = V_N \cdot C_U$

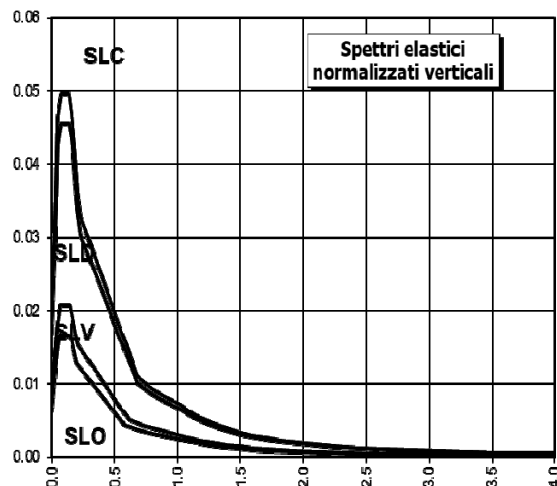
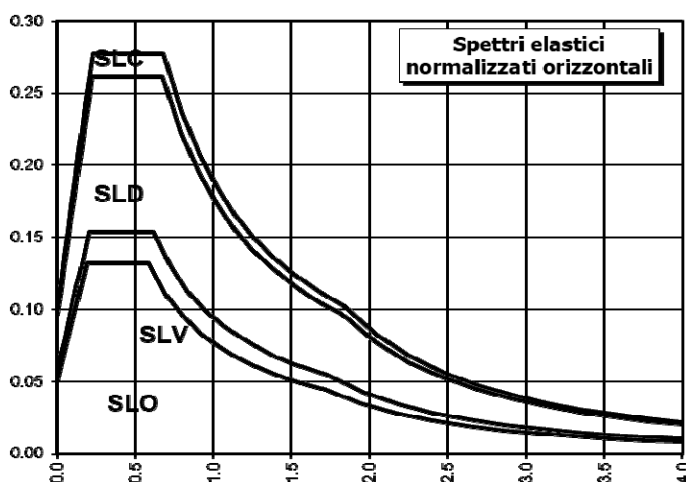
S_T : è il coefficiente di amplificazione topografica

ξ e η : fattori dipendenti dal terreno di fondazione

T_B , T_C , T_D , T_E , T_F : periodi corrispondenti ai diversi tratti dello spettro

S : coefficiente relativo alla categoria del sottosuolo e della topografia ($S = S_s \cdot S_T$)

F_v : fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima



9.5 Calcolo dei coefficienti sismici k_h e k_v

I coefficienti sismici orizzontale (k_h) e verticale (k_v) sono determinati con le seguenti relazioni:

$$k_h = \beta_s \cdot (a_{\max}/g) \quad k_v = \pm 0.5 \cdot k_h$$

Essendo:

$$a_{\max} = a_g(m/s^2) \cdot S \quad \text{dove: } a_g(m/s^2) = a_g(g) \cdot 9.81$$

β_s = coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito, ricavabile dalla Tabella 7.11.I (D.M. 17.01.2018), di seguito riportata:

Valori di β_s - Tab. 7.11.I

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

La tabella seguente riporta i dati utilizzati e la soluzione dei calcoli:

| | | a_g [g/10] | a_g [g] | S^* [adm] | a_g [m/s ²] | a_{\max} [m/s ²] | β_s [adm] | k_h [adm] | k_v [adm] |
|-----|-----|-----------------|--------------|----------------|------------------------------|-----------------------------------|--------------------|----------------|----------------|
| SLE | SLO | 0.278 | 0.0278 | 1.80 | 0.273 | 0.491 | 0.20 | 0.010 | 0.005 |
| | SLD | 0.323 | 0.0323 | 1.80 | 0.317 | 0.571 | 0.20 | 0.012 | 0.006 |
| SLU | SLV | 0.537 | 0.0537 | 1.80 | 0.527 | 0.948 | 0.20 | 0.019 | 0.010 |
| | SLC | 0.567 | 0.0567 | 1.80 | 0.556 | 1.001 | 0.20 | 0.020 | 0.010 |

9.6 Esclusione della verifica a liquefazione

Per tale verifica si è fatto riferimento al § 7.11.3.4.2 del D.M. 17.01.2018, che individua i motivi di esclusione dalla verifica a liquefazione dei terreni, che può essere omessa se interviene almeno una delle circostanze indicate. Nel caso in esame interviene la seguente circostanza:

- accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0.1 g

Appurato ciò, **la verifica alla liquefazione non è necessaria.**

10. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA PRELIMINARE

La caratterizzazione geotecnica dei terreni interessati dalle opere strutturali in progetto è avvenuta rifacendosi ad un modello geotecnico costituito da due strati sovrapposti, aventi caratteristiche meccaniche distinte ma singolarmente omogenee, riconducibili ai seguenti due livelli:

- Livello 1 (0,0 m ÷ 1.5 m): limo sabbioso poco addensato
- Livello 2: (1.5 m ÷ 20.0 m): ghiaia sabbiosa con lenti e livelli francamente sabbiosi da mediamente addensata ad addensata

Per la definizione dei parametri geotecnici fondamentali (peso di volume γ , angolo di attrito ϕ , coesione c , densità relativa D_r) si è fatto ricorso agli abbondanti dati riguardanti i litotipi presenti reperibili in letteratura (LAMBE & WHITMAN, 1969; NAVFAC, 1971; LANCELOTTO, 1987) e ai risultati delle prove penetrometriche SCPT condotte nel novembre 2018 lungo il perimetro esterno del sito dalla Tecnosuolo S.r.l. di Casatisma (PV) per la Livanova S.r.l. I valori di N_{SPT} ottenuti sono stati corretti in funzione del tipo di attrezzatura utilizzata, della profondità e del diametro di perforazione secondo quanto indicato da Skempton (1986) e normalizzati tenendo conto della pressione litostatica efficace agente alla profondità indagata (Liao & Whitman, 1986). In fig. 17 sono riportati i risultati di 2 delle 12 prove penetrimetriche eseguite, ritenute rappresentative delle caratteristiche fisiche e meccaniche dei terreni nei primi 8 metri di profondità.

Prova penetrometrica dinamica n.

P3

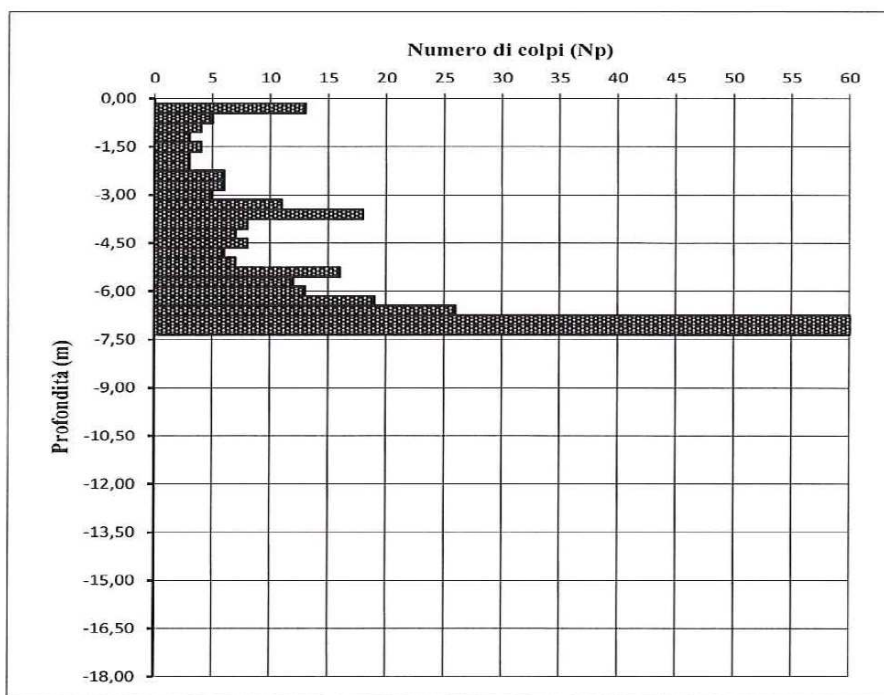
S.S

Località: **Saluggia (VC)**

Data: **15/11/2018**

Committente: **Livanova Site Management S.r.l.**

Quota inizio **p.c.**



Prova penetrometrica dinamica n.

P10

S.S

Località: **Saluggia (VC)**

Data: **15/11/2018**

Committente: **Livanova Site Management S.r.l.**

Quota inizio **p.c.**

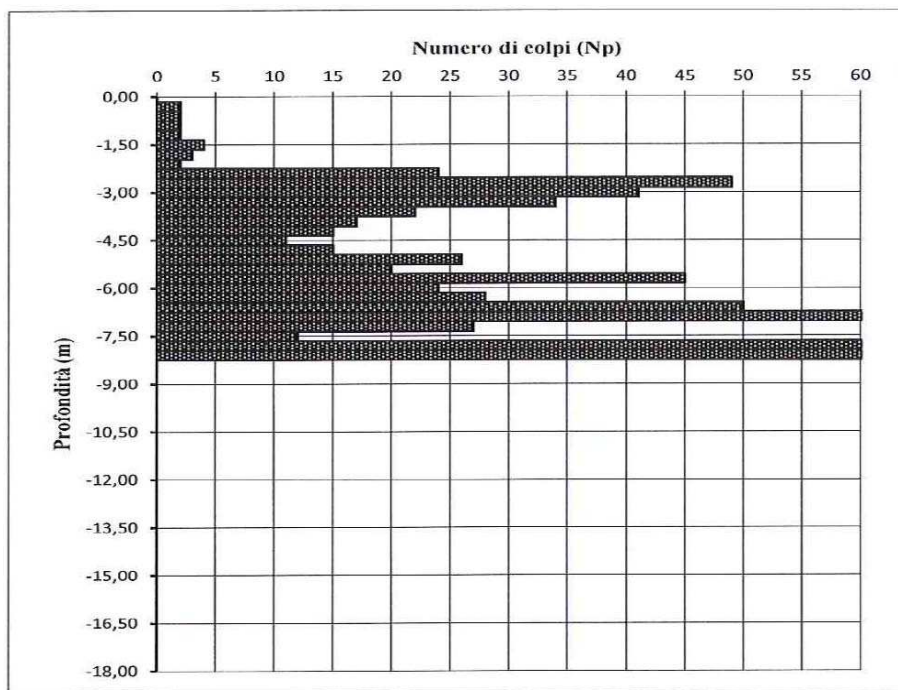


Fig. 17 - Risultati delle prove SCPT eseguite nel novembre 2018 dalla Tecnosuolo S.r.l. (Livanova S.r.l.), lungo il perimetro esterno del sito

10.1 Cenni sulla prova penetrometrica

La prova penetrometrica consiste nella determinazione del numero di colpi inferti da una massa battente per infiggere nel terreno una punta conica portata all'estremità di un'asta metallica di un tratto di 30 cm. A prescindere dai vari fattori che intervengono nel processo, è intuitiva la relazione diretta intercorrente tra il numero di colpi e la densità del mezzo. Attraverso le prove penetrometriche dinamiche è infatti possibile ottenere dati sulla natura litologica del terreno indagato e sul grado di addensamento, condizione che si riflette nel valore della capacità portante dei piani di fondazione e nell'entità dei cedimenti indotti dall'applicazione di un carico. Inoltre, indirettamente, si può risalire al valore dei parametri geotecnici fondamentali.

10.2 Analisi dei dati penetrometrici

L'interpretazione dei risultati delle prove penetrometriche conferma l'assetto stratigrafico già rilevato durante le indagini di campagna (cfr. Cap. 5.0), costituito da due livelli sovrapposti, di cui quello superiore è caratterizzato da una resistenza alla penetrazione decisamente inferiore rispetto a quello sottostante. Il passaggio tra i due livelli è sottolineato da un brusco aumento della densità (e quindi del numero di colpi) che avviene in modo repentino, senza l'interposizione di una fascia con densità intermedia. Il livello superiore è caratterizzato da una resistenza alla penetrazione modesta ($N_{30} 2 \div 5$) ed è riconducibile al terreno vegetale superficiale di natura limoso-sabbiosa poco addensata; l'incremento in superficie del numero di colpi in alcune prove si riferisce a terreni di riporto. Il livello inferiore individua il complesso alluvionale ghiaioso sabbioso, caratterizzato da una significativa compattezza ($N_{30} > 25$).

In tutte le 12 prove eseguite si è registrato l'arresto dell'approfondimento ("rifiuto" in gergo tecnico corrispondente a più di 50 colpi per ottenere un avanzamento di 30 cm), a profondità dal p.c. comprese tra 5.5 m e 11.5 metri.

10.3 Definizione dei parametri geotecnici fondamentali

La tendenza di un materiale granulare (un "terreno" in senso geotecnico) ad opporsi alla deformazione è nota come "resistenza al taglio"; il criterio descrittivo più in uso del comportamento di un terreno sottoposto a sforzo è quello esplicitato dall'equazione di COULOMB (1773):

$$\tau = c + (\sigma - u) * \tan \varphi$$

che lega la resistenza al taglio τ disponibile lungo una superficie di scorrimento al valore della tensione normale σ agente sul piano medesimo (al netto dell'eventuale spinta idrostatica u) e al valore assunto da due parametri caratteristici del terreno stesso: la coesione " c " e l'angolo di resistenza al taglio " φ ".

I materiali presenti sono da considerare granulari, per cui le analisi sono state svolte in termini di tensioni efficaci in ambito di coesione nulla ($c=0$).

Il valore dell'angolo di resistenza al taglio (ϕ') è derivabile dalla densità relativa (D_r) del materiale, a sua volta correlabile al valore N_{SPT} .

Inoltre, per quanto riguarda l'angolo di resistenza al taglio, in problemi che comportino il raggiungimento di deformazioni significative (spinta passiva delle terre, capacità portante dei terreni di fondazione), con innesco di fenomeni di rottura progressiva, la resistenza disponibile mobilitabile non è già quella che compete all'angolo di resistenza al taglio di "picco" (ϕ), più elevato, ma a quello a "volume costante" (ϕ_{cv}), la cui determinazione avviene attraverso opportune formule di conversione (tra le quali quella di VESIC). In ambito fondazionale, a favore di sicurezza, è quindi consigliabile usare il valore di ϕ_{cv} .

I valori di N_{SPT} utilizzati nei calcoli sono i seguenti:

Livello 1: $N_{SPT} = 4$

Livello 2: $N_{SPT} = 20$

Per la determinazione dei parametri geotecnici fondamentali sono state prese in considerazione le seguenti relazioni:

| Parametro | Metodo |
|---|------------------------------------|
| Peso di volume (γ) | - Navfac (1970) - Bowles (1974) |
| Densità relativa (D_r) | - Terzaghi e Peck (1972) |
| Angolo di resistenza al taglio (ϕ) | - Hatanaka e Ukita (1996) |
| Modulo di deformazione E_s | - AASHTO (1996) |

La soluzione dei calcoli secondo le diverse metodologie proposte dagli autori sopra citati, ha permesso di determinare i valori dei parametri geotecnici, i quali sono stati mediati, ottenendo i risultati riportati nella seguente tabella.

| Parametri geotecnici | Livello 1 | Livello 2 |
|--|----------------------|----------------------|
| Peso di volume (γ_k) | 18 kN/m ³ | 19 kN/m ³ |
| Peso di volume saturo (γ_w) | 19 kN/m ³ | 20 kN/m ³ |
| Coesione (c) | 50 kPa | 0 kPa |
| Angolo di res. al taglio di picco (ϕ') | 25° ÷ 27° | 29° ÷ 31° |
| Ang. res. al taglio a vol. cost. (ϕ_{cv}) | 22° ÷ 24° | 26° ÷ 28° |
| Densità relativa (D_r) | ≈ 30 % | ≈ 70 % |

11. FILTRAZIONE DEL CORPO ARGINALE

I materiali che verranno utilizzati per la realizzazione del rilevato arginale sono granulometricamente classificabili come limi-argillosi scarsamente sabbiosi (max 15% in sabbia), appartenenti alle classi A-4, A-6, A-7-6 della norma CNR UNI 10006, con indice di plasticità inferiore a 25. Tali materiali possono essere considerati a priori scarsamente permeabili. Inoltre, per effetto delle tecniche utilizzate per la realizzazione del rilevato, che verrà steso in strati sovrapposti adeguatamente rullati, è da prevedere una ulteriore riduzione del grado di permeabilità per effetto della diminuzione dei vuoti intergranulari conseguente al processo di addensamento. Infine, la realizzazione del diaframma a parete continua impermeabile, permette di attribuire ragionevolmente al corpo arginale un valore di conducibilità idraulica dell'ordine di 10^{-7} m/s.

In tale ambito di valori il manufatto può essere considerato impermeabile, tanto da rendere pressoché trascurabile l'infiltrazione che si dovesse originare in corrispondenza del paramento "lato fiume" per effetto di un evento di piena, anche in considerazione della limitata durata della stessa. L'andamento dell'idrogramma di piena caratteristico per la Dora Baltea nel tratto in esame, evidenzia infatti come il manufatto possa essere interessato dal livello massimo per un tempo molto limitato (dell'ordine di poche ore), con rapida diminuzione del livello di piena. Sulla base di tali considerazioni per valutare l'andamento della superficie libera di infiltrazione nel corpo arginale si è adottato un criterio empirico frequentemente utilizzato nella pratica. Si ipotizza che la linea freatica abbia un andamento rettilineo a partire dal livello di massima piena, coincidente con la quota di testa dell'argine, con una pendenza pari a 1/5. Con tale assunzione risulta che la linea freatica interseca il paramento lato campagna rimanendo, in linea generale, all'interno del rilevato arginale. Peraltro, la presenza del setto antifiltrazione, predisposto anche in considerazione dell'importanza del sito industriale e dei depositi di materiale radioattivo presenti, garantisce l'impermeabilità dell'opera nel suo complesso.

12. VERIFICHE AL SIFONAMENTO

La ricostruzione litologica e stratigrafica del settore su cui insisterà l'argine ha permesso di verificare la presenza di un livello sommitale esteso e continuo con spessore dell'ordine di 1.5 m, costituito da limo sabbioso, da poco a scarsamente addensato, debolmente coesivo. Tale livello costituisce, ovunque, la base del rilevato arginale.

L'assenza di misure della permeabilità in situ e la mancanza di dati riguardanti il gradiente idraulico critico ($i_c = \gamma' / \gamma_w$) non permettono l'esecuzione della verifica al sifonamento, che è rimandata alle successive fasi progettuali e all'acquisizione dei dati puntuali necessari. Inoltre, si rileva che la presenza del diaframma antisifonamento spinto fino alla profondità di 4,0 m dal p.c. di fatto costituisce una barriera impermeabile che rende del tutto inverosimile l'instaurarsi di moti di filtrazione significativi al di sotto del rilevato arginale, tali da potersi evolvere in processi di sifonamento.

13. ACCORGIMENTI TECNICI PER LA COSTRUZIONE DELL'ARGINE

Il rilevato arginale dovrà essere realizzato attraverso la sovrapposizione di più strati di materiale costipato, sino a raggiungere l'altezza di progetto. Per la sua costruzione dovranno essere utilizzati materiali appartenenti alle classi A-4, A-6, A-7-6 della norma CNR UNI 10006. In fase operativa dovrà essere assicurato un adeguato collegamento tra il terreno di fondazione e la base del rilevato; a tal fine è necessario prevedere lo scotico del piano di impronta sino ad una profondità non inferiore a 0,75 m, in modo da eliminare il livello di suolo superficiale caratterizzato dalla presenza di materiale organico e da caratteristiche geotecniche inadeguate a dissipare il carico operato dal rilevato arginale. Anche l'eventuale materiale di riporto antropico dovrà essere asportato. Il sottofondo andrà erpicato e rullato per garantire l'omogeneità tra il fondo ed il primo strato. Potranno essere utilizzati rulli compattatori statici di peso non inferiore a 12 tonnellate.

Il corpo del rilevato dovrà essere realizzato per sovrapposizione di strati successivi di spessore non superiore a $0,3 \div 0,4$ m, ciascuno dei quali compattato con rullo vibrante di peso non inferiore ad 8 tonnellate. Il materiale, prima della rullatura, potrà essere eventualmente inumidito sino al raggiungimento del tenore d'acqua ottimale emerso dalla prova Proctor. Al termine dell'intervento di realizzazione dello strato il materiale posto in opera dovrà avere valori del peso di volume allo stato secco pari al 95% del peso di volume secco ottenuto attraverso la prova Proctor (con tolleranza di $\pm 1\%$); la corrispondente umidità dovrà raggiungere valori

compresi tra $\pm 2\%$ di quella ottimale ottenuta con la suddetta prova di compattazione. Definita anche la percentuale di umidità, questa deve essere mantenuta costante con una tolleranza di $\pm 1\%$.

L'omogeneità tra uno strato e l'altro dovrà essere assicurata attraverso una leggera scarificazione della sommità dello strato inferiore.

In ultimo, si ritiene di suggerire l'opportunità di realizzare un tratto di argine campione, attraverso il quale ottimizzare le modalità esecutive, soprattutto per quanto riguarda lo spessore ottimale delle stese di materiale da sottoporre a compattazione.