





## 1. PREMESSA E MODALITA' DI SVOLGIMENTO DELLO STUDIO

La presente relazione è finalizzata a definire gli elementi geolitologici ed idrogeologici per il progetto di ampliamento del complesso produttivo Industrie Cosmetiche Riunite (stabilimento ICR) ubicato al margine nord del comune di Lodi al km 2.8 della S.P n°25 (cfr. Fig.1, Fig.2, Fig.3 e Fig.4). In particolare la finalità ultima del presente studio è stata quella di definire le caratteristiche di permeabilità del primo sottosuolo e quindi la capacità di assorbimento dello stesso allo scopo di fornire al progettista gli elementi per il dimensionamento delle opere di raccolta e drenaggio delle acque meteoriche provenienti dalle superfici coperte e dai piazzali della nuova struttura prefabbricata e del parcheggio che saranno realizzati nella zona sud dello stabilimento.

Le caratteristiche geoidrogeologiche generali dell'area in esame, illustrate nei capitoli successivi, sono state definite con i dati riportati in bibliografia ("Componente geologica, geotecnica e sismica" comunale redatta a supporto del PGT e "Piano Cave della Provincia di Lodi"). Le caratteristiche litostratigrafiche e idrogeologiche di dettaglio dell'area e la valutazione della permeabilità del primo sottosuolo sono state definite attraverso specifiche indagini geognostiche in sito integrate con quelle già eseguite nell'ambito dello studio geotecnico del luglio 2012. Più precisamente in quest'ultima fase sono state eseguite le seguenti indagini:

- n°2 sondaggi a carotaggio continuo con prelievo di n°4 campioni disturbati sui quali sono state effettuate le analisi granulometriche
- n°4 prove di permeabilità in sito tipo Lefranc eseguite nei fori di sondaggio di cui sopra a diverse profondità dal piano campagna
- n°8 prove di permeabilità in foro di sondaggio realizzato con penetrometro eseguite a diverse profondità dal piano campagna

Fig.1-Foto aerea

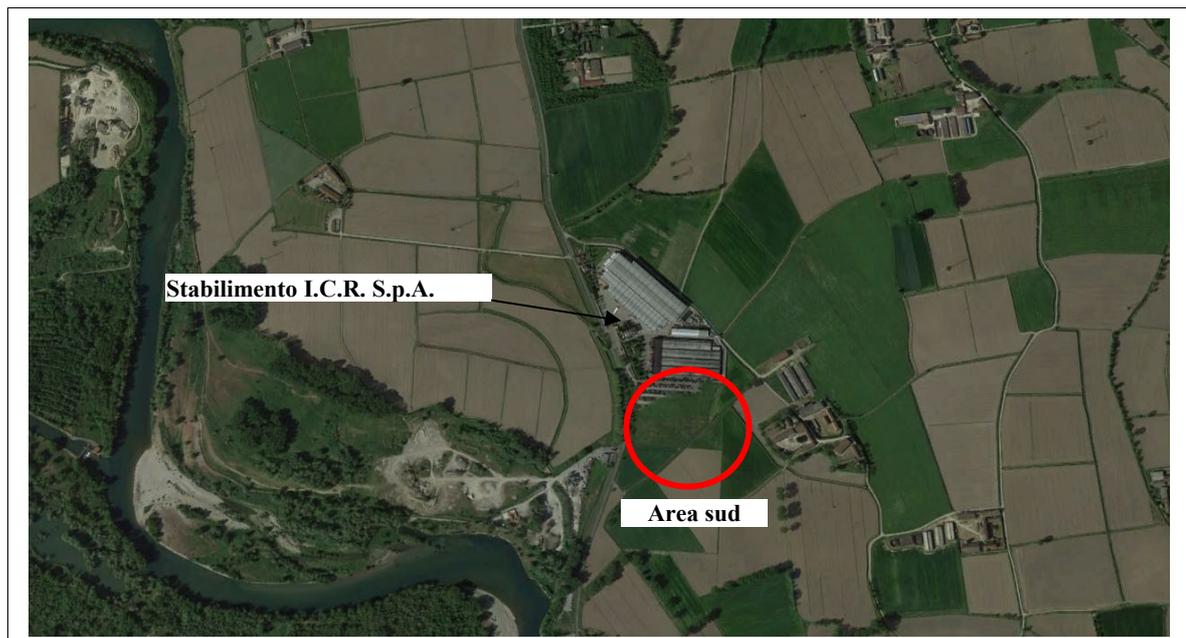


Fig. 2-Corografia - Stralcio CTR, sezione B6e5

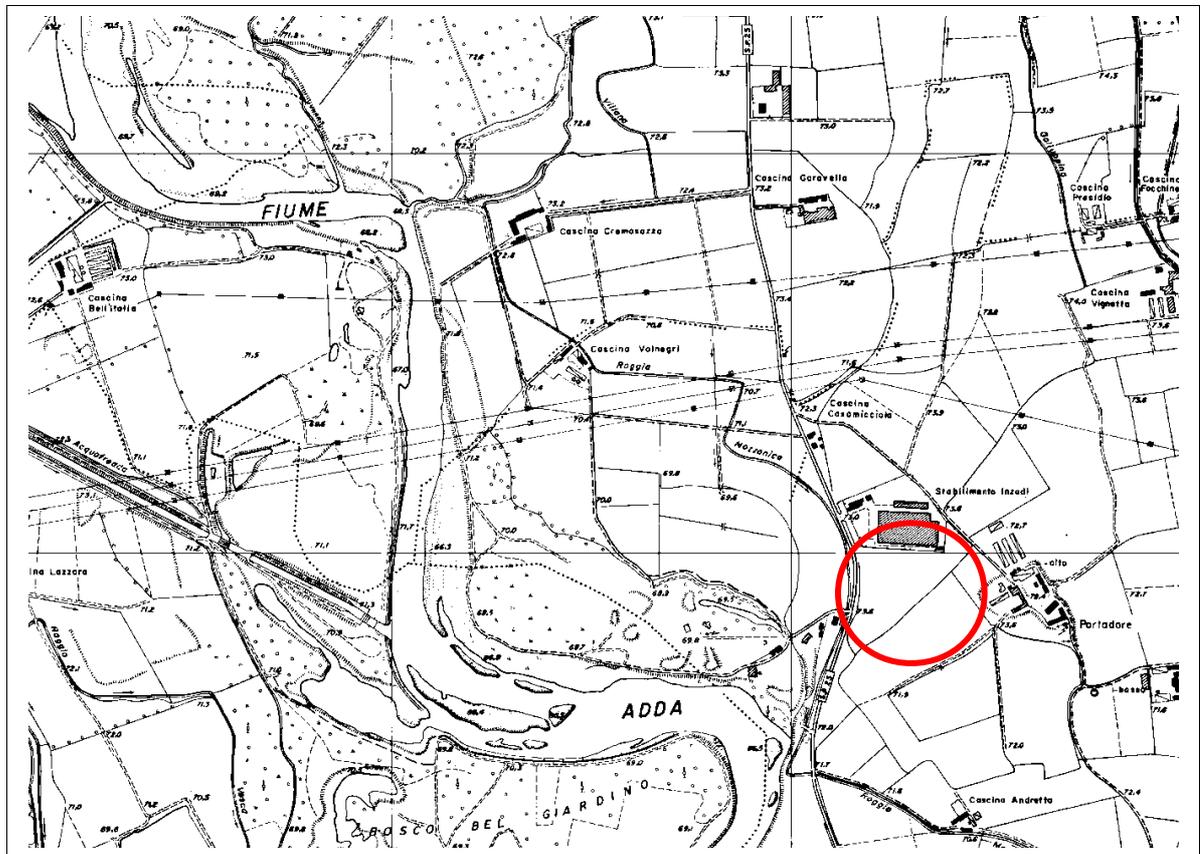


Fig. 3-Particolare foto aerea

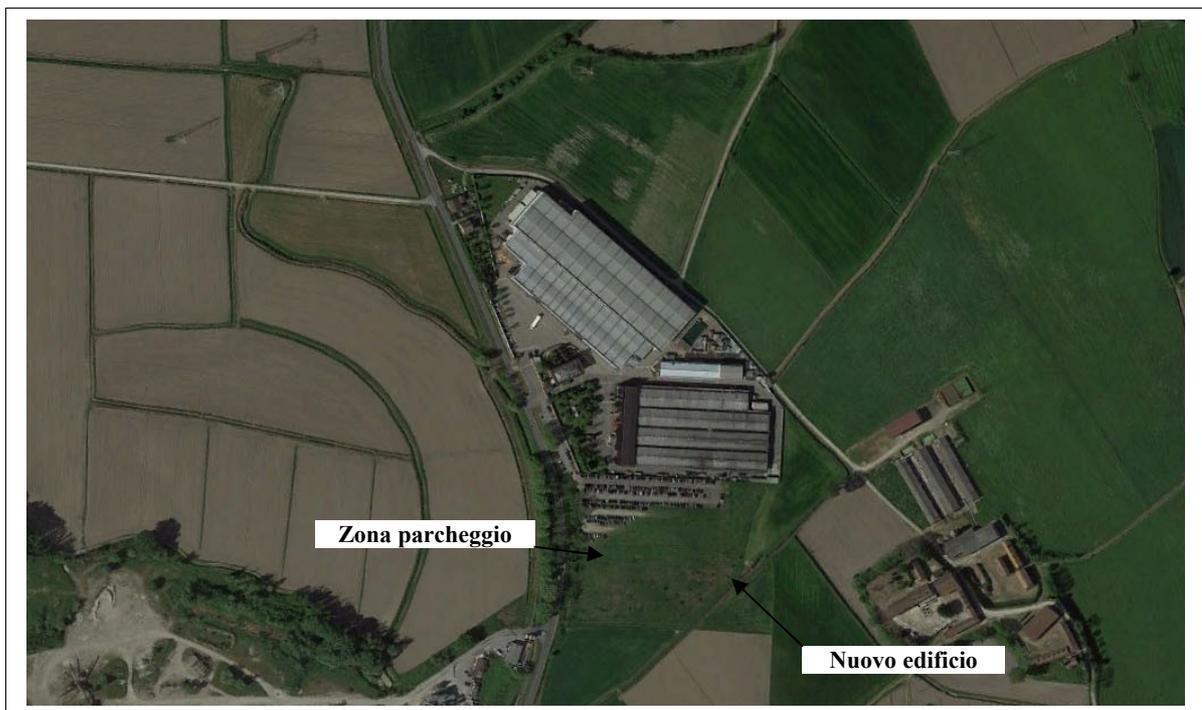
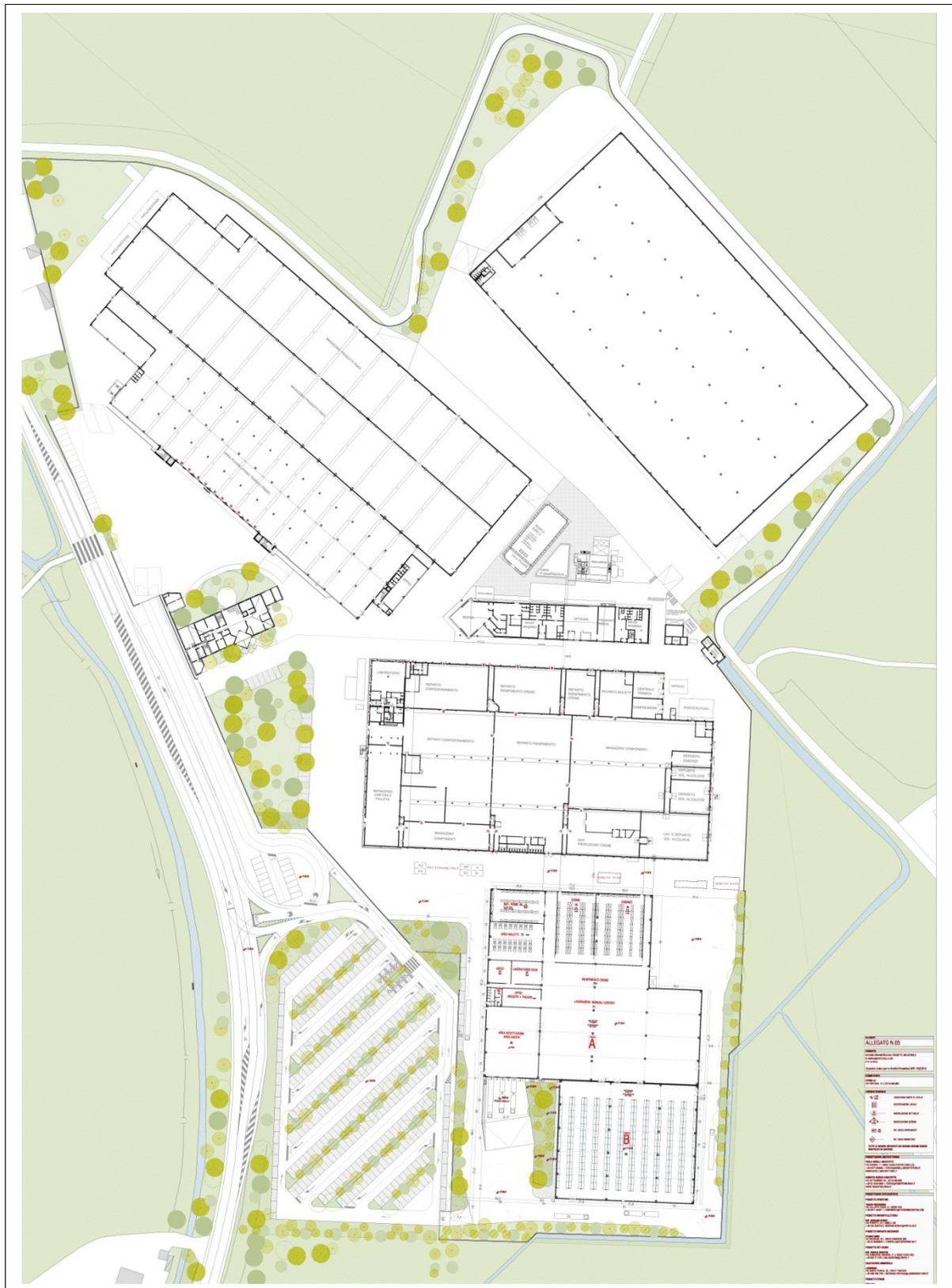


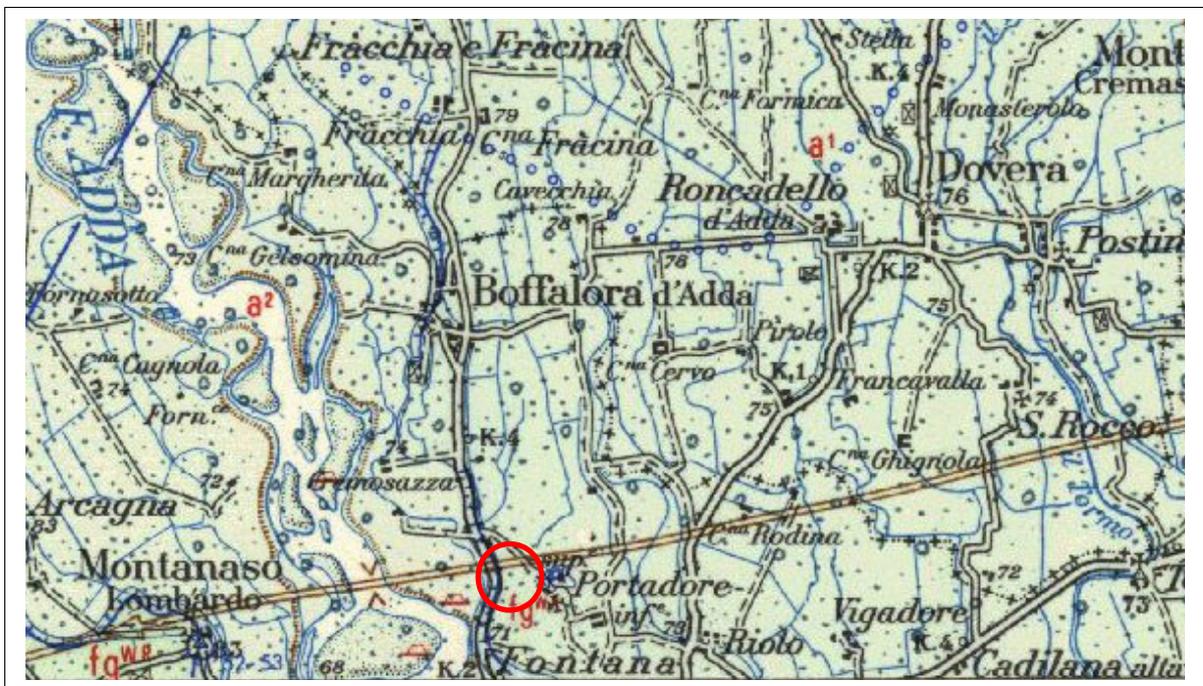
Fig. 4-Planimetria di progetto ampliamento complesso produttivo



## 2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO E IDROGEOLOGICO DEL SITO

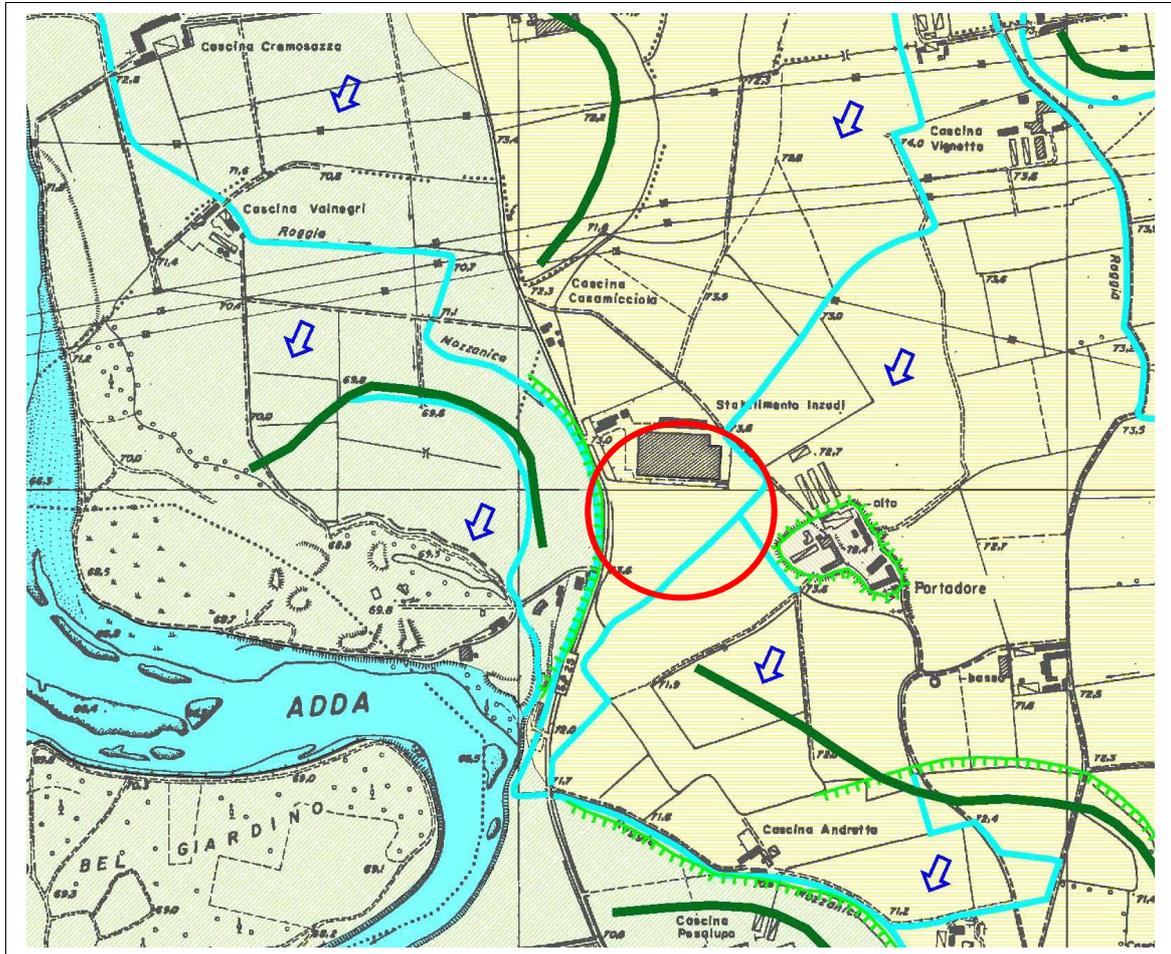
La zona in esame, con morfologia uniforme pianeggiante, è ubicata sul terrazzo alluvionale antico del F.Adda modellato nei depositi olocenici prevalentemente sabbioso ghiaiosi e ghiaioso sabbiosi con copertura limoso sabbiosa di ridotto spessore e talora assente, indicati nella Carta Geologica d'Italia, Fg.46 Treviglio come "Alluvium antico-a<sup>1</sup>" (cfr. Fig.5 e Fig.6). In particolare è posta al margine ovest del suddetto terrazzo che risulta sopraelevato di circa 3.5÷4 m rispetto al ripiano alluvionale recente. Particolare rilevanza geomorfologica assume il dosso sabbioso di C.na Portadore Alto posto in prossimità dell'area sud, sopraelevato di circa 5 m rispetto ai terreni circostanti.

Fig.5-Carta Geologica d'Italia Foglio 46, Treviglio



All'interno dei depositi alluvionali sopra descritti è presente un'importante falda libera con direzione di flusso prevalente NNE-SSW ossia verso l'asse drenante del F.Adda. Sulla base dei dati riportati in bibliografia (*Piano Cave della Provincia di Lodi e Componente Geologica, idrogeologica e sismica PGT*) la falda è caratterizzata da valori di soggiacenza generalmente compresi tra 2÷5 m. Durante l'esecuzione delle indagini in sito (prove penetrometriche) del luglio 2012 la falda è stata riscontrata a profondità variabili tra 3 e 3.80 m, mentre in quelle effettuate in questa fase (29 aprile 2015) la stessa si attestava a 5.30 m dal piano campagna risalita poi in data 14 maggio 2015 a 5.00 m dallo stesso. Il regime della falda è caratterizzato da livelli minimi invernali e massimi estivi (mesi di luglio-inizio settembre) legati prevalentemente alla stagione irrigua. Pertanto i valori rilevati in questa fase corrispondono alla massima soggiacenza (distanza della superficie freatica dal piano campagna) della falda mentre quelli misurati nel luglio 2012 alla minima soggiacenza della stessa.

Fig.6-Carta geologica, geomorfologica e idrogeologica



**LEGENDA**

- ALLUVIONI ATTUALI DEL FIUME ADDA - Sabbie e ghiaie OLOCENE ATTUALE
- ALLUVIONI RECENTI - Sabbie prevalenti, limi e ghiaie variamente alternate. Permeabilità superficiale variabile in funzione delle caratteristiche litologiche e granulometriche dei depositi, comunque generalmente da medio-alta ad alta - OLOCENE MEDIO
- ALLUVIONI ANTICHE - Depositi terrazzati a litologia prevalentemente sabbioso ghiaiosa e ghiaioso sabbiosa con ridotta copertura limoso sabbiosa e/o sabbioso limosa a volte assente - Permeabilità superficiale generalmente elevata, medio-bassa nelle zone con strato di copertura limoso sabbioso - OLOCENE INFERIORE
- FLUVIOGLACIALE E FLUVIALE RECENTE - Depositi prevalentemente sabbioso-ghiaiosi, appartenenti al livello fondamentale della pianura con diffusa copertura sabbioso limosa e limoso sabbiosa di potenza dell'ordine di 3-6 m. Permeabilità superficiale da medio bassa a bassa - PLEISTOCENE SUPERIORE
- Limite litologico presunto
- Scarpa fluviale
- Paleovalve
- Idrografia superficiale
- Direzione di flusso principale della prima falda acquifera di tipo freatico
- Area sud interessata dal primo intervento

### 3. INDAGINI GEOGNOSTICHE

#### 3.1. Premessa

Al fine di definire l'assetto litostratigrafico e idrogeologico di dettaglio dell'area ed in particolare di valutare la permeabilità del primo sottosuolo sono state eseguite specifiche indagini geognostiche in sito integrate con quelle già realizzate nell'ambito dello studio geotecnico del luglio 2012. In quest'ultima fase sono stati eseguiti due sondaggi a carotaggio continuo (profondità massima 15 m) con prelievo di quattro campioni disturbati sottoposti ad analisi granulometrica di laboratorio e n.12 prove di permeabilità in foro tipo Lefranc effettuate a diversa profondità dal piano campagna. Più precisamente quattro prove di permeabilità sono state eseguite direttamente nei fori dei sondaggi a carotaggio continuo realizzati con sonda, mentre otto sempre in fori di sondaggio realizzati però con penetrometro dinamico. L'ubicazione dei sondaggi e dei punti di prova concordata con la Direzione Lavori e con l'Ing. Angelo Agostini è riportata in Fig.7. Il dettaglio delle singole indagini effettuate e la descrizione delle modalità esecutive delle stesse è illustrato nei paragrafi successivi.

Fig.7-Planimetria con ubicazione indagini



### 3.2. Sondaggi a carotaggio continuo

Sono stati eseguiti in data 29 aprile 2015 due sondaggi meccanici a rotazione con carotaggio continuo indicati con le sigle S1 ed S2 della lunghezza rispettivamente di 15 m e 4 m dal piano campagna. Le perforazioni sono state eseguite con sistema d'avanzamento a rotazione ed impiego di sonda idraulica e pompa a motore ausiliaria per circolazione d'acqua con annessa vasca di carico, utilizzando un tubo carotiere semplice da 101 mm ed una batteria di tubazioni di rivestimento da 127 mm per prevenire franamenti durante l'attraversamento di terreni incoerenti. In fase di avanzamento sono state eseguite a varie profondità le prove di permeabilità che verranno illustrate al capitolo 5. Tutti i campioni ottenuti dalle operazioni di carotaggio per successiva estrazione dal carotiere sono stati opportunamente riposti in cassette catalogatrici munite di setti separatori e coperchio di protezione rappresentative ciascuna di 5 m di sondaggio. Per la descrizione dettagliata delle caratteristiche stratigrafiche dei terreni attraversati, effettuata secondo criteri granulometrici, sedimentologici, litologici e cromatici, si rimanda all'All.1, mentre la documentazione fotografica degli stessi è visualizzata nelle foto di seguito riportate. Dalle cassette catalogatrici sono stati prelevati e conservati in appositi sacchetti di plastica, contrassegnati da etichette identificative, n.4 campioni di terreno disturbati di classe di qualità Q.2 (classif. Racc. AGI 1977) da sottoporre ad analisi granulometrica. Le quote dei prelievi dal piano campagna ed i dati identificativi dei campioni rimaneggiati raccolti, sono riportati nella tabella sottostante.

SONDAGGIO	CAMPIONE	Profondita' da p.c. [m]	SONDAGGIO	CAMPIONE	Profondita' da p.c. [m]
S1	S1-A	2.00-2.50	S2	S2-C	2.00-2.50
	S1-B	3.50-4.00		S2-D	3.50-4.00

Foto 1-Ubicazione sondaggio a carotaggio continuo S1



Foto 2-Cassetta n°1: da 0 a 5 m



Foto 3-Cassetta n°2: da 5 a 10 m



Foto 4-Cassetta n°3: da 10 a 15 m



Foto 5-Ubicazione sondaggio a carotaggio continuo S2



Foto 6-Cassetta n°1: da 0 a 4 m



### 3.3. Analisi di laboratorio

Sui campioni rimaneggiati prelevati sono state effettuate delle prove di identificazione ovvero analisi granulometriche presso il Laboratorio Geotecnologico Pavia s.r.l. autorizzato ai sensi del D.P.R. 246/93–Decr. N.53084 del 01/03/05, mediante vagliatura (setacciatura) per via umida i cui risultati sono riassunti nella tabella che segue. Nell'All.2 vengono riportati tutti i certificati di prova con le rispettive "curve granulometriche" delle analisi effettuate secondo le modalità previste dalla Normativa vigente (C.N.R. B.U. n°23–ASTM D 422/90).

CAMPIONE	N. CERTIF.	COMPOSIZIONE GRANULOMETRICA				DESCRIZIONE LITOLOGICA
		Ghiaia %	Sabbia %	Limo %	Argilla %	
S1-A	12/1	22	57	21	---	Sabbia ghiaioso limosa
S1-B	12/2	12	57	31	---	Sabbia con limo ghiaiosa
S2-C	12/3	56	37	7	---	Ghiaia con sabbia debolmente limosa
S2-D	12/4	42	40	18	---	Ghiaia con sabbia limosa

### 3.4. Fori di sondaggio eseguiti con penetrometro

In data 4 maggio 2015 sono stati eseguiti con un penetrometro semovente statico-dinamico DPSH tipo Pagani Tg63-100 due fori di sondaggio per l'esecuzione di prove di permeabilità con profondità massima di 4.40 m dal piano campagna. Le perforazioni sono state eseguite con sistema d'avanzamento a percussione infiggendo una batteria d'aste di rivestimento alla cui estremità inferiore è posta una punta tronco-conica di diametro 7 cm con soprastante tratto filtrante telescopico estensibile in continuità con il rivestimento stesso.

Nelle foto di seguito riportate è visualizzato il penetrometro sui punti di prova e le caratteristiche della porzione inferiore del rivestimento, della punta e del tratto filtrante. Per quanto riguarda le modalità esecutive delle prove di permeabilità eseguite nei suddetti fori e i relativi risultati si rimanda al capitolo 5.

*Foto 7-Ubicazione perforazione foro P3*



*Foto 8-Ubicazione perforazione foro P4*



Foto 9-Punta, tratto filtrante ed estremità inferiore rivestimento



#### **4. ASSETTO LITOLOGICO AREA SUD E PARCHEGGIO**

Con riferimento ai sondaggi a carotaggio continuo, alle prove penetrometriche pregresse ed alle analisi granulometriche l'assetto litologico del sottosuolo nell'area sud dello stabilimento per quanto riguarda i primi 7 m è rappresentato da uno strato superficiale con spessore variabile da 1 a circa 2 m costituito da limi sabbiosi argillosi (S1) e sabbie fini limose (S2), a cui seguono sabbie e sabbie ghiaiose più o meno limose (S1) e ghiaie con sabbia da debolmente limose a limose (S2). I terreni sabbiosi sottostanti allo strato superficiale e caratterizzati dalla presenza di una frazione limosa variabile ma comunque importante che ne riduce la permeabilità, prevalgono nel settore interessato dalla realizzazione del nuovo edificio. Al contrario nella zona del parcheggio sempre al di sotto dell'orizzonte superficiale sono presenti depositi prevalentemente ghiaiosi più o meno limosi con caratteristiche di permeabilità da buone ad elevate. In particolare come riscontrato dai risultati delle prove di permeabilità eseguite nei fori P3 e P4 descritte nel capitolo successivo la frazione limosa tende progressivamente a diminuire spostandosi verso il lato ovest del futuro parcheggio.

#### **5. PERMEABILITA' DEGLI STRATI SUPERFICIALI DEL SOTTOSUOLO**

##### **5.1. Generalità**

La permeabilità del primo sottosuolo è stata valutata con l'esecuzione di n°12 prove di permeabilità in sito tipo Lefranc a carico variabile eseguite nei fori di sondaggio a diverse profondità dal piano campagna e con le analisi granulometriche.

I risultati delle suddette prove sono riportati negli allegati 3 e 4. Di seguito si illustreranno brevemente le modalità esecutive delle stesse.

### **5.2. Prove di permeabilità a carico variabile nei fori di sondaggio S1 ed S2 eseguiti a carotaggio continuo**

Le prove di permeabilità tipo Lefranc permettono di determinare la permeabilità di terreni al fondo di fori di sondaggio al di sotto o al di sopra del livello della falda, in quest'ultimo caso dopo aver saturato con acqua il terreno; possono essere eseguite in fase di avanzamento della perforazione a diverse profondità oppure alla fine della trivellazione sul solo tratto terminale, misurando gli assorbimenti di acqua nel terreno dopo aver fatto filtrare l'acqua attraverso un tratto di foro predeterminato. Le modalità esecutive sono di seguito sintetizzate:

1. perforazione con carotiere fino alla quota di prova
2. rivestimento del foro fino alla quota raggiunta dalla perforazione, senza uso di fluido di circolazione almeno negli ultimi 100 cm di infissione
3. infissione della batteria di rivestimento per il tratto di terreno direttamente interessato dalla prova
4. misura del livello della falda
5. saturazione del foro in quanto sopra falda
6. riempimento del foro con acqua sino all'estremità del rivestimento
7. misura del livello dell'acqua all'interno del tubo (senza ulteriori immissioni) a determinati intervalli di tempo

Le prove di permeabilità sono state realizzate in corrispondenza dei sondaggi S1 ed S2 in data 29 aprile 2015. In particolare sono state eseguite n°4 prove (due per sondaggio) a diverse profondità dal piano campagna. Il coefficiente di permeabilità K del terreno è stato valutato mediante la seguente relazione:

$$K = \frac{A}{F(t_1 - t_0)} \ln \frac{h_0}{h_1} \quad [\text{m/s}]$$

A=area della sezione trasversale del rivestimento in cui avvengono le misure del livello dell'acqua nel foro [m<sup>2</sup>]

F=coefficiente di forma dipendente dall'area del foro di sondaggio e dalla lunghezza L del tratto di foro direttamente interessato dalla prova [m]

h<sub>0</sub>, h<sub>1</sub>=altezze dei livelli d'acqua nel rivestimento agli istanti t<sub>0</sub> e t<sub>1</sub> [m]

t<sub>0</sub>, t<sub>1</sub>=tempi ai quali si misurano h<sub>0</sub>, e h<sub>1</sub> [s]

In particolare il coefficiente di forma F è stato determinato utilizzando le formule sottostanti. I risultati ottenuti e lo schema delle prove riportati nelle schede dell'All.3 vengono riassunti brevemente nelle tabelle di seguito visualizzate.

$$F=L \quad L >> d$$

$$F=2\textcircled{R}+L \quad L \leq d$$

L=lunghezza del tratto filtrante interessato dalla prova

d=diametro del foro

**Studio di permeabilità**

<b>PROVA 1-S1</b>				
Quota fondo foro: - 2.47 m da p.c. - Litologia: Sabbia ghiaioso limosa				
<b>Ora lettura</b>	<b>Tempo</b>	<b>Abbassamenti</b>	<b>Altezza</b>	<b>K</b>
[-]	[s]	[cm]	[m]	[m/s]
9 <sup>h</sup> 52'	0	0.00	3.060	-
9 <sup>h</sup> 52'10"	10	0.50	3.055	1.91·10 <sup>-6</sup>
9 <sup>h</sup> 52'15"	15	0.60	3.054	1.52·10 <sup>-6</sup>
9 <sup>h</sup> 52'30"	30	0.70	3.053	8.91·10 <sup>-7</sup>
9 <sup>h</sup> 53'00"	60	0.80	3.052	5.09·10 <sup>-7</sup>
9 <sup>h</sup> 54'00"	120	1.30	3.047	4.14·10 <sup>-7</sup>
9 <sup>h</sup> 56'00"	240	2.00	3.040	3.19·10 <sup>-7</sup>
10 <sup>h</sup> 00'00"	480	3.70	3.023	2.96·10 <sup>-7</sup>
10 <sup>h</sup> 08'00"	960	6.10	2.999	2.45·10 <sup>-7</sup>
10 <sup>h</sup> 24'00"	1920	9.60	2.964	1.94·10 <sup>-7</sup>
<b>Valore medio</b>				<b>7.00·10<sup>-7</sup></b>
<b>PROVA 2-S1</b>				
Quota fondo foro: - 4.00 m da p.c. - Litologia: Sabbia con limo ghiaiosa				
<b>Ora lettura</b>	<b>Tempo</b>	<b>Abbassamenti</b>	<b>Altezza</b>	<b>K</b>
[-]	[s]	[cm]	[m]	[m/s]
11 <sup>h</sup> 08'	0	0.00	4.590	-
11 <sup>h</sup> 08'05"	5	0.10	4.589	5.08·10 <sup>-7</sup>
11 <sup>h</sup> 08'10"	10	0.20	4.588	5.08·10 <sup>-7</sup>
11 <sup>h</sup> 08'30"	30	0.60	4.584	5.09·10 <sup>-7</sup>
11 <sup>h</sup> 09'00"	60	0.80	4.582	3.39·10 <sup>-7</sup>
11 <sup>h</sup> 10'00"	120	0.90	4.581	1.90·10 <sup>-7</sup>
11 <sup>h</sup> 12'00"	240	1.20	4.578	1.27·10 <sup>-7</sup>
11 <sup>h</sup> 16'00"	480	1.60	4.574	8.49·10 <sup>-8</sup>
11 <sup>h</sup> 24'00"	960	2.30	4.567	6.11·10 <sup>-8</sup>
11 <sup>h</sup> 40'00"	1920	3.40	4.556	4.52·10 <sup>-8</sup>
<b>Valore medio</b>				<b>2.64·10<sup>-7</sup></b>
<b>PROVA 3-S2</b>				
Quota fondo foro: - 2.35 m da p.c. - Litologia: Ghiaia con sabbia debolmente limosa				
<b>Ora lettura</b>	<b>Tempo</b>	<b>Abbassamenti</b>	<b>Altezza</b>	<b>K</b>
[-]	[s]	[cm]	[m]	[m/s]
16 <sup>h</sup> 11'	0	0.00	3.030	-
16 <sup>h</sup> 11'05"	5	0.50	3.025	2.28·10 <sup>-5</sup>
16 <sup>h</sup> 11'10"	10	0.80	3.022	1.83·10 <sup>-5</sup>
16 <sup>h</sup> 11'20"	20	2.00	3.010	2.29·10 <sup>-5</sup>
16 <sup>h</sup> 11'30"	30	2.80	3.002	2.14·10 <sup>-5</sup>
16 <sup>h</sup> 12'00"	60	6.00	2.970	2.30·10 <sup>-5</sup>
16 <sup>h</sup> 13'00"	120	12.00	2.910	2.33·10 <sup>-5</sup>
16 <sup>h</sup> 17'00"	360	35.00	2.680	2.36·10 <sup>-5</sup>
16 <sup>h</sup> 19'00"	480	48.00	2.550	2.48·10 <sup>-5</sup>
16 <sup>h</sup> 27'00"	960	74.00	2.290	2.01·10 <sup>-5</sup>
16 <sup>h</sup> 32'00"	1260	96.50	2.065	2.10·10 <sup>-5</sup>
16 <sup>h</sup> 43'00"	1920	124.00	1.790	1.89·10 <sup>-5</sup>
<b>Valore medio</b>				<b>2.18·10<sup>-5</sup></b>

<b>PROVA 4-S2</b>				
Quota fondo foro: - 3.67 m da p.c. - Litologia: Ghiaia con sabbia limosa				
<b>Ora lettura</b>	<b>Tempo</b>	<b>Abbassamenti</b>	<b>Altezza</b>	<b>K</b>
[-]	[s]	[cm]	[m]	[m/s]
17 <sup>h</sup> 34'	0	0.00	4.300	-
17 <sup>h</sup> 34'05''	5	0.40	4.296	4.64·10 <sup>-6</sup>
17 <sup>h</sup> 34'10''	10	0.70	4.293	4.07·10 <sup>-6</sup>
17 <sup>h</sup> 34'30''	30	1.50	4.285	2.91·10 <sup>-6</sup>
17 <sup>h</sup> 35'00''	60	2.00	4.280	1.94·10 <sup>-6</sup>
17 <sup>h</sup> 36'00''	120	2.60	4.274	1.26·10 <sup>-6</sup>
17 <sup>h</sup> 38'00''	240	4.40	4.256	1.07·10 <sup>-6</sup>
17 <sup>h</sup> 45'00''	660	9.60	4.204	8.54·10 <sup>-7</sup>
16 <sup>h</sup> 50'00''	960	13.50	4.165	8.29·10 <sup>-7</sup>
18 <sup>h</sup> 06'00''	1920	25.80	4.042	8.04·10 <sup>-7</sup>
<b>Valore medio</b>				<b>2.04·10<sup>-6</sup></b>

I valori del coefficiente di permeabilità K ricavati rispettano la litologia desunta dalle analisi granulometriche. Infatti le prove 1-S1 e 2-S1 effettuate nel foro del sondaggio S1 in corrispondenza dei campioni prelevati poi sottoposti a granulometria hanno restituito un K compreso tra  $2.64 \cdot 10^{-7} \div 7 \cdot 10^{-7}$  m/s indice di bassa permeabilità e di drenaggio povero per la presenza di una percentuale di frazione limosa piuttosto importante che riduce la permeabilità dei terreni sabbiosi. Il valore più basso conferma la litologia riscontrata nel campione S1-B dove la quantità di limo pari al 31% è superiore rispetto a quella del campione S1-A (21%). Le stesse considerazioni valgono per le prove 3-S2 e 4-S2 eseguite nel foro del sondaggio S2 dove è stato ottenuto un valore di K compreso nell'intervallo  $2.04 \cdot 10^{-6} \div 2.18 \cdot 10^{-5}$  m/s indice di permeabilità da bassa a media con drenaggio da povero a buono. La litologia dei terreni in corrispondenza del sondaggio S2 è costituita da ghiaie con sabbia da debolmente limosa a limosa. Anche in questo caso la differenza dei valori di K ricavati con le prove 3-S2 e 4-S2 è attribuibile alla diversa percentuale di limo presente nei terreni ghiaiosi che risulta maggiore nel campione S2-D rispetto a quella del campione S2-C.

### **5.3. Prove di permeabilità a carico variabile nei fori di sondaggio P3 e P4 realizzati con penetrometro**

Le suddette prove di permeabilità sono state realizzate in corrispondenza dei fori di sondaggio P3 e P4 il 4 maggio 2015. Raggiunta la profondità di prova con il sistema d'avanzamento a percussione descritto al capitolo 3, viene sollevata la batteria di rivestimento aprendo il settore filtrante posto sopra la punta per il tratto interessato dalla prova. Dopo aver misurato il livello della falda indisturbata nel foro si è proceduto all'esecuzione della prova con immissione d'acqua nello stesso. A causa dell'elevata permeabilità del terreno non sempre è stato possibile misurare l'abbassamento del livello dell'acqua nel foro ad intervalli regolari. Infatti in tempi brevi (inferiori al minuto) il foro si svuotava. Pertanto si è scelto di rilevare i tempi per unità di abbassamento (0.88 m) per cicli successivi al fine anche di saturare al meglio il terreno. I valori di permeabilità K del terreno sono stati calcolati utilizzando sempre la formula riportata al paragrafo precedente.

I risultati ottenuti e lo schema delle prove riportati nelle schede dell'All.4 vengono riassunti brevemente nelle seguenti tabelle.

<b>PROVA 1-P3</b>				
Quota fondo foro: - 2.35 m da p.c.				
<b>N. ciclo</b>	<b>Tempo</b>	<b>Abbassamenti</b>	<b>Altezza</b>	<b>K</b>
[-]	[s]	[m]	[m]	[m/s]
-	0	0.00	1.00	-
1	55	0.88	0.12	$1.65 \cdot 10^{-3}$
2	55	0.88	0.12	$1.65 \cdot 10^{-3}$
3	54	0.88	0.12	$1.68 \cdot 10^{-3}$
4	68	0.88	0.12	$1.33 \cdot 10^{-3}$
5	61	0.88	0.12	$1.48 \cdot 10^{-3}$
6	63	0.88	0.12	$1.44 \cdot 10^{-3}$
7	71	0.88	0.12	$1.27 \cdot 10^{-3}$
<b>Valore medio</b>				<b><math>1.50 \cdot 10^{-3}</math></b>
<b>PROVA 2-P3</b>				
Quota fondo foro: - 2.35 m da p.c.				
<b>Tempo</b>	<b>Abbassamenti</b>	<b>Altezza</b>	<b>K</b>	
[s]	[m]	[m]	[m/s]	
0	0.00	1.00	-	
5	0.20	0.80	$1.90 \cdot 10^{-3}$	
15	0.40	0.60	$1.45 \cdot 10^{-3}$	
25	0.60	0.40	$1.56 \cdot 10^{-3}$	
40	0.65	0.35	$1.12 \cdot 10^{-3}$	
<b>Valore medio</b>				<b><math>1.51 \cdot 10^{-3}</math></b>
<b>PROVA 3-P3</b>				
Quota fondo foro: - 4.32 m da p.c.				
<b>N. ciclo</b>	<b>Tempo</b>	<b>Abbassamenti</b>	<b>Altezza</b>	<b>K</b>
[-]	[s]	[m]	[m]	[m/s]
-	0	0.00	1.00	-
1	25	0.88	0.12	$3.62 \cdot 10^{-3}$
2	24	0.88	0.12	$3.77 \cdot 10^{-3}$
3	27	0.88	0.12	$3.35 \cdot 10^{-3}$
4	27	0.88	0.12	$3.35 \cdot 10^{-3}$
5	28	0.88	0.12	$3.24 \cdot 10^{-3}$
6	25	0.88	0.12	$3.62 \cdot 10^{-3}$
7	25	0.88	0.12	$3.62 \cdot 10^{-3}$
<b>Valore medio</b>				<b><math>3.51 \cdot 10^{-3}</math></b>
<b>PROVA 4-P3</b>				
Quota fondo foro: - 4.32 m da p.c.				
<b>Tempo</b>	<b>Abbassamenti</b>	<b>Altezza</b>	<b>K</b>	
[s]	[m]	[m]	[m/s]	
0	0.00	1.00	-	
5	0.30	0.70	$3.05 \cdot 10^{-3}$	
15	0.65	0.35	$2.99 \cdot 10^{-3}$	
20	0.80	0.20	$3.44 \cdot 10^{-3}$	
30	0.88	0.12	$3.02 \cdot 10^{-3}$	
<b>Valore medio</b>				<b><math>3.12 \cdot 10^{-3}</math></b>

<b>PROVA 1-P4</b>				
Quota fondo foro: - 2.38 m da p.c.				
<b>N. ciclo</b> [-]	<b>Tempo</b> [s]	<b>Abbassamenti</b> [m]	<b>Altezza</b> [m]	<b>K</b> [m/s]
-	0	0.00	1.00	-
1	35	0.88	0.12	$2.59 \cdot 10^{-3}$
2	33	0.88	0.12	$2.74 \cdot 10^{-3}$
3	32	0.88	0.12	$2.83 \cdot 10^{-3}$
4	34	0.88	0.12	$2.66 \cdot 10^{-3}$
5	31	0.88	0.12	$2.92 \cdot 10^{-3}$

**Studio di permeabilità**

6	33	0.88	0.12	$2.74 \cdot 10^{-3}$
<b>Valore medio</b>				<b><math>2.75 \cdot 10^{-3}</math></b>
<b>PROVA 2-P4</b>				
Quota fondo foro: - 2.38 m da p.c.				
<b>Tempo</b> [s]	<b>Abbassamenti</b> [m]	<b>Altezza</b> [m]	<b>K</b> [m/s]	
0	0.00	1.00	-	
5	0.20	0.80	$1.91 \cdot 10^{-3}$	
10	0.50	0.50	$2.96 \cdot 10^{-3}$	
20	0.60	0.40	$1.96 \cdot 10^{-3}$	
28	0.80	0.20	$2.45 \cdot 10^{-3}$	
35	0.88	0.12	$2.59 \cdot 10^{-3}$	
<b>Valore medio</b>				<b><math>2.37 \cdot 10^{-3}</math></b>
<b>PROVA 3-P4</b>				
Quota fondo foro: - 4.35 m da p.c.				
<b>N. ciclo</b> [-]	<b>Tempo</b> [s]	<b>Abbassamenti</b> [m]	<b>Altezza</b> [m]	<b>K</b> [m/s]
-	0	0.00	1.00	-
1	81	0.88	0.12	$1.11 \cdot 10^{-3}$
2	43	0.88	0.12	$2.11 \cdot 10^{-3}$
3	34	0.88	0.12	$2.66 \cdot 10^{-3}$
4	35	0.88	0.12	$2.59 \cdot 10^{-3}$
5	27	0.88	0.12	$3.35 \cdot 10^{-3}$
6	27	0.88	0.12	$3.35 \cdot 10^{-3}$
7	27	0.88	0.12	$3.35 \cdot 10^{-3}$
8	27	0.88	0.12	$3.35 \cdot 10^{-3}$
<b>Valore medio</b>				<b><math>3.11 \cdot 10^{-3}</math></b>
<b>PROVA 4-P4</b>				
Quota fondo foro: - 4.35 m da p.c.				
<b>Tempo</b> [s]	<b>Abbassamenti</b> [m]	<b>Altezza</b> [m]	<b>K</b> [m/s]	
0	0.00	1.00	-	
5	0.25	0.75	$2.46 \cdot 10^{-3}$	
15	0.50	0.50	$1.97 \cdot 10^{-3}$	
20	0.70	0.30	$2.57 \cdot 10^{-3}$	
25	0.80	0.20	$2.75 \cdot 10^{-3}$	
33	0.88	0.12	$2.74 \cdot 10^{-3}$	
<b>Valore medio</b>				<b><math>2.50 \cdot 10^{-3}</math></b>

Dai risultati sopra indicati si evince che i terreni nella zona dove sono stati eseguiti i fori P3 e P4 sono caratterizzati da elevata permeabilità con valori di K sempre superiori a  $10^{-3}$  m/s ed in particolare compresi nell'intervallo  $1.50 \cdot 10^{-3} \div 3.51 \cdot 10^{-3}$  m/s. Si sottolinea come, in relazione alle modalità esecutive della perforazione del foro e dell'esecuzione della prova, essendo la filtrazione dell'acqua solo laterale e risultando  $L/D > 1.2$  il coefficiente K calcolato con le suddette prove rappresenta il coefficiente orizzontale  $k_h$  del terreno. Diversamente nel caso delle prove eseguite nei fori a carotaggio continuo S1 ed S2 la filtrazione avviene a fondo foro e il K calcolato può considerarsi il coefficiente verticale  $k_v$  del terreno. Generalmente il coefficiente di permeabilità

orizzontale  $k_h$  del terreno è maggiore, anche di un ordine di grandezza, del coefficiente di permeabilità verticale  $k_v$ . Questa è una possibile spiegazione della migliore permeabilità riscontrata con le prove eseguite nei fori P3 e P4 rispetto a quelle eseguite nel foro di sondaggio S2. Si rimarca inoltre che la valutazione del coefficiente di permeabilità orizzontale  $k_h$  con le prove effettuate nei fori P3 e P4 dove la filtrazione dell'acqua avviene solo lateralmente rispecchia la situazione reale che si viene a creare con i pozzi drenanti. Infatti spesso la base drenante si occlude e il drenaggio delle acque avviene solo attraverso la superficie laterale fessurata.

#### **5.4. Coefficiente di permeabilità da prove granulometriche con correlazione di Hazen**

La determinazione del coefficiente di permeabilità  $K$  utilizzando i risultati delle analisi granulometriche e la correlazione di Hazen è stata possibile solo per la granulometria relativa al campione S2-C in quanto solo in questo caso si è potuto determinare il parametro  $D_{10}$ . Secondo la formula di Hazen  $K=C \cdot (D_{10})^2$  essendo  $D_{10}$  il diametro efficace dei grani corrispondente al 10% di passante e  $C$  una costante che può variare da 70 a 170 e, usualmente per una prima valutazione della permeabilità, può essere assunta pari a 100 per un terreno uniforme. Per un valore di  $D_{10}$  pari a 0.17 mm si ottiene con la suddetta correlazione un coefficiente di permeabilità  $K$  pari a  $2.89 \cdot 10^{-4}$  m/s. Sulla base delle evidenze sperimentali la permeabilità valutata con la formula di Hazen risulta sovrastimata anche di un ordine di grandezza, pertanto essendo la permeabilità stessa funzione oltre che del diametro dei granuli anche della porosità e quindi dello stato di addensamento alcuni autori suggeriscono di correggere il valore di  $K$  calcolato come sopra con un fattore correttivo funzione della porosità del deposito. Sulla base delle suddette considerazioni il valore del coefficiente  $K$  pari a  $2.89 \cdot 10^{-4}$  m/s desunto dalla formula di Hazen risulta comunque in accordo con quello ottenuto con la prova di permeabilità in foro 3-S2 pari a  $2.18 \cdot 10^{-5}$  m/s.

## **6. CONCLUSIONI**

Le caratteristiche geoidrogeologiche e litologiche, nonché gli elementi per il dimensionamento delle opere di raccolta e drenaggio delle acque meteoriche provenienti dalle superfici coperte e dai piazzali della nuova struttura prefabbricata e del parcheggio che saranno realizzati nella zona sud dello stabilimento sono di seguito sintetizzate:

1. la zona in esame, con morfologia uniforme pianeggiante, è ubicata sul terrazzo alluvionale antico del F.Adda modellato nei depositi olocenici prevalentemente sabbioso ghiaiosi e ghiaioso sabbiosi con copertura limoso sabbiosa di ridotto spessore e talora assente, indicati nella Carta Geologica d'Italia, Fg.46 Treviglio come "*Alluvium antico-a<sup>1</sup>*".

In particolare è posta al margine ovest del suddetto terrazzo che risulta sopraelevato di circa  $3.5 \div 4$  m rispetto al ripiano alluvionale recente;

2. durante l'esecuzione delle indagini in sito (prove penetrometriche) del luglio 2012 la falda è stata riscontrata a profondità variabili tra 3 e 3.80 m, mentre in quelle effettuate in questa fase (29 aprile 2015) la stessa si attestava a 5.30 m dal piano campagna risalita poi in data 14 maggio 2015 a 5.00 m dallo stesso. Il regime della falda è caratterizzato da livelli minimi

invernali e massimi estivi (mesi di luglio-inizio settembre) legati prevalentemente alla stagione irrigua. Pertanto i valori rilevati in questa fase corrispondono alla massima soggiacenza (distanza della superficie freatica dal piano campagna) della falda mentre quelli misurati nel luglio 2012 alla minima soggiacenza della stessa;

3. l'assetto litologico del sottosuolo nell'area sud dello stabilimento per quanto riguarda i primi 7 m è rappresentato da uno strato superficiale con spessore variabile da 1 a circa 2 m costituito da limi sabbiosi argillosi (S1) e sabbie fini limose (S2), a cui seguono sabbie e sabbie ghiaiose più o meno limose (S1) e ghiaie con sabbia da debolmente limose a limose (S2). I terreni sabbiosi sottostanti allo strato superficiale e caratterizzati dalla presenza di una frazione limosa variabile ma comunque importante che ne riduce la permeabilità, prevalgono nel settore interessato dalla realizzazione del nuovo edificio. Al contrario nella zona del parcheggio sempre al di sotto dell'orizzonte superficiale sono presenti depositi prevalentemente ghiaiosi più o meno limosi con caratteristiche di permeabilità da buone ad elevate;
4. in relazione ai risultati desunti dalle prove di permeabilità il sottosuolo dell'area interessata dalla realizzazione del parcheggio ed in particolare la zona ovest dello stesso dove presumibilmente verranno realizzati i pozzi drenanti per lo smaltimento delle acque meteoriche è caratterizzato da elevata permeabilità con valori del coefficiente K maggiori di  $10^{-3}$  m/s ed in particolare compresi nell'intervallo  $1.50 \cdot 10^{-3} \div 3.51 \cdot 10^{-3}$  m/s.

Lodi, 15 maggio 2015

Dott. Geol. Giovanni Viganò  
(Ordine dei Geologi della Lombardia n. 1051)



Dott. Geol. Stefania Branchi  
(Ordine dei Geologi della Lombardia n. 1007)



CIPREA S.r.l. - via Tortona, 15 - 20144 MILANO

COMUNE DI LODI (LO)

AMPLIAMENTO COMPLESSO PRODUTTIVO INDUSTRIE COSMETICHE RIUNITE - S.P. 25 Lodi Boffalora

**Relazione idrogeologica**

---

## **Allegato 1**

### **STRATIGRAFIE SONDAGGI A CAROTAGGIO CONTINUO**

CIPREA S.R.L. - via Tortona, 15 - 20144 MILANO

COMUNE DI LODI (LO)

AMPLIAMENTO COMPLESSO PRODUTTIVO INDUSTRIE COSMETICHE RIUNITE - S.P. 25 Lodi Boffalora

**Studio di permeabilità**

---

## **Allegato 2**

### **CERTIFICATI ANALISI GRANULOMETRICHE**

CIPREA S.R.L. - via Tortona, 15 - 20144 MILANO

COMUNE DI LODI (LO)

AMPLIAMENTO COMPLESSO PRODUTTIVO INDUSTRIE COSMETICHE RIUNITE - S.P. 25 Lodi Boffalora

**Studio di permeabilità**

---

## **Allegato 3**

### **PROVE DI PERMEABILITA' IN FORI DI SONDAGGIO ESEGUITI A CAROTAGGIO CONTINUO**

CIPREA S.R.L. - via Tortona, 15 - 20144 MILANO

COMUNE DI LODI (LO)

AMPLIAMENTO COMPLESSO PRODUTTIVO INDUSTRIE COSMETICHE RIUNITE - S.P. 25 Lodi Boffalora

**Studio di permeabilità**

---

## **Allegato 4**

### **PROVE DI PERMEABILITA' IN FORI DI SONDAGGIO ESEGUITI CON PENETROMETRO**