

## ***PROVINCIA DI FERRARA***

### **PROGETTAZIONE PRELIMINARE, DEFINITIVA ED ESECUTIVA DEL NUOVO TRATTO DI IDROVIA PER L'ATTRAVERSAMENTO DELLA CITTÀ DI FERRARA, DALLA CONCA DI PONTELAGOSCURO ALL'ABITATO DI BAURA (FE)**

### **PROGETTO DEFINITIVO**

#### ***1 LOTTO - 1 STRALCIO: DALLA CONCA DI PONTELAGOSCURO ALLA CONFLUENZA CON IL CANALE BURANA***



### **CANALE BOICELLI**

### **RELAZIONE GEOLOGICA E IDROGEOLOGICA**

**PER PRESA VISIONE**  
IL PROGETTISTA BOTTE SIFONE CANALE BOICELLI - CANALE CITTADINO  
Ing. MARIO CHINNI

04/06/2018

N° PROGETTO: <b>93.B.004</b>		N° ALLEGATO: 1.2.1			
0	Aprile 2009	EMISSIONE A SEGUITO RICHIESTA PROVINCIA	Vendrame	Ceroni	Bavestrello
1					
2					
3					
4					
<b>revisione</b>	<b>data</b>	<b>descrizione</b>	<b>redatto</b>	<b>controllato</b>	<b>approvato</b>

## INDICE

1.	PREMESSA.....	1
2.	IL CANALE BOICELLI: LO STATO DI FATTO .....	3
3.	TIPOLOGIE DI INTERVENTO PREVISTE IN PROGETTO.....	5
4.	INDAGINI IN SITO ESEGUITE.....	7
5.	<b>CARATTERISTICHE GEOLOGICHE, IDROLOGICHE, ED IDROGEOLOGICHE GENERALI DELL'AREA .....</b>	<b>9</b>
5.1	SISMICITÀ DEL TERRITORIO FERRARESE .....	9
5.2	I FENOMENI DI SUBSIDENZA .....	10
5.3	GEOMORFOLOGIA, GEOLOGIA E STRATIGRAFIA GENERALE.....	12
5.4	IDROGEOLOGIA .....	13
5.4.1	<i>Falda freatica</i> .....	14
5.4.2	<i>Prima falda in pressione</i> .....	15
6.	<b>ASSETTO GEOLOGICO DI DETTAGLIO LUNGO L'OPERA IN PROGETTO .....</b>	<b>16</b>
7.	<b>ALLEGATI .....</b>	<b>19</b>

## 1. PREMESSA

La presente relazione tratta delle condizioni geologiche e geotecniche dei terreni e delle litoformazioni interessate dai lavori di adeguamento dell'Idrovia che attraversa il comune di Ferrara, per il tratto relativo al Canale Boicelli.

Il canale Boicelli, che rappresenta una bretella di raccordo idroviario tra il Po Grande ed il Po di Volano, oltre ad acque del Po ed a scoli provenienti dalla zona industriale di Ferrara, può convogliare le acque di scolo eccedenti del Consorzio di Bonifica I Circondario e può recapitare al Po di Volano fino a 10 m<sup>3</sup>/s. Il canale presenta un tracciato rettilineo orientato N-S; si innesta nel Po Grande per mezzo della biconca di Pontelagoscuro. Presenta in genere debole cadente idraulica da Nord verso Sud.

Nel tratto di canale in questione si dovranno eseguire lavori di rettifica ed adeguamento che comporteranno tra l'altro opere di bonifica, dragaggio e aumento della luce per la navigabilità anche nelle zone dei ponti.

Tali interventi verranno definiti in dettaglio e verificati anche sulla base dei risultati della campagna di indagini in sito e di laboratorio, eseguita preliminarmente alla fase di progettazione esecutiva.

La presente relazione geologica si basa sui risultati emersi a seguito dell'esecuzione delle indagini geognostiche dirette ed indirette in sito (sondaggi, prove penetrometriche, indagini di carattere geofisico), oltre che su informazioni, dati e parametri di carattere bibliografico

reperiti per l'area in esame, in prevalenza attraverso gli Uffici Tecnici del Comune e della Provincia di Ferrara.

## **2. IL CANALE BOICELLI: LO STATO DI FATTO**

Il Canale Boicelli si estende da Pontelagoscuro, dove è localizzata la biconca, a Ferrara ed ha una lunghezza di circa 5.50 Km.

Il canale svolge la duplice funzione di vettore di acque irrigue, industriali e di scolo oltre ad essere un collegamento navigabile tra il Po di Volano e il fiume Po; a circa 2 Km dalla biconca di Pontelagoscuro il canale riceve le acque del Canal Bianco sollevate dall'impianto idrovoro Betto.

Il canale Boicelli ha origine dalla darsena di Pontelagoscuro, posta immediatamente a valle della conca, e si sviluppa per circa 4800 metri con direzione Nord-Sud ed andamento rettilineo fino a raggiungere la confluenza con il fosso Burana, che proviene da Ovest.

Il canale è costituito da una sezione di tipo trapezoidale, con profondità media di 2.50 m e larghezza pressoché costante di 30 m circa, misurata sul pelo dell'acqua.

Il rivestimento della sezione è formato da pietrame bitumato per la tratta a contatto con la fascia di oscillazione del pelo liquido, al di sopra della quale è presente un paramento di sponda senza protezioni, con pendenza tre orizzontale su due verticale. Nella parte immersa, la sponda non risulta rivestita ed ha pendenza gradatamente variabile.

Le sponde arginali sono densamente vegetate, a tratti alberate.

In corrispondenza di zone particolari, sono presenti modesti allargamenti della sagoma per effetto della costruzione di darsene in cui la sponda è sostenuta da strutture murarie, a servizio delle Aziende Industriali che fronteggiano il canale.

Lungo il canale sono presenti cinque ponti stradali, uno ferroviario e quattro passerelle per acquedotto, come di seguito descritto; le progressive sono quelle di riferimento dell'idrovia:

- Ponte Bardella, posto alla progressiva 1-69 : ha struttura muraria, a due luci da 12,20 m ciascuna, con pila centrale in alveo e tirante d'aria di 4,50 m circa; esso unisce la zona di via Vallelunga (in sponda destra) con l'area industriale; dallo stesso ponte, si accede anche al cimitero, ubicato anch'esso in sponda destra;
- Ponte Betto, posto alla progressiva 2-68: ha struttura muraria, a due luci da 12,50 m ciascuna, con pila centrale in alveo e tirante d'aria di 4,50 m circa; esso collega via delle Bonifiche (in sponda destra) con la zona industriale di Ferrara;
- Ponte Confortino, posto alla progressiva 3-67: ha struttura muraria, a due luci da 12,00 m circa, con pila centrale in alveo e tirante d'aria di 4,30 m circa; esso collega le due zone industriali di Ferrara;
- Ponte della Resistenza, posto alla progressiva 4.5-65.5 circa: ha struttura muraria, ad una luce da oltre 30 metri m e tirante d'aria di 6,60 m; esso collega le due zone industriali di Ferrara e le zone di raccordo con l'Autostrada;
- Ponte Mizzana, posto alla progressiva 4-66 circa: ha struttura muraria, a due luci da 11,70 m ciascuna, con pila centrale in alveo e tirante d'aria di 4,40 m circa; esso collega la città di Ferrara, con il borgo di Mizzana ed è soggetto ad intenso traffico.

Il ponte ferroviario è attualmente adibito ad uso industriale e serve il traffico merci tra le due sponde. Esso è posto alla progressiva 5-65 circa: ha struttura muraria, a due luci da 12,80 m ciascuna e tirante d'aria di 4,60 m circa.

Sono presenti altresì alcune passerelle per acquedotto localizzate lungo il canale di cui due devono essere demolite.

Lungo il canale sono presenti anche due botti a sifone, rispettivamente la prima alla progressiva 1,5-68,5 a servizio del canale Bianco e la seconda alla progressiva 4-66 circa.

Al termine del canale, si trova la confluenza con il canale Burana, recettore naturale che drena le acque provenienti dalla provincia di Modena. Proprio per questa sua caratteristica, il Burana è un forte apportatore di trasporto solido, che si rinviene in alveo proprio a partire dalla zona di confluenza con il Boicelli. Qui è attualmente presente una consistente barra di materiale limoso, che ostruisce gran parte dell'incile. Tale condizione è di particolare ostacolo alla navigazione e richiederà un consistente intervento per il risezionamento.

### **3. TIPOLOGIE DI INTERVENTO PREVISTE IN PROGETTO**

Lungo il canale Boicelli, che presenta sostanzialmente delle difficoltà per via dei ponti con tirante insufficiente e del basso fondale del canale, si prevedono lavori, mirati al seguente dimensionamento delle opere:

- |  |         |
|--|---------|
| - Tirante minimo sotto i ponti:        | 5.50 m  |
| - Profondità media in alveo:           | 3.45 m  |
| - Larghezza minima sotto i ponti:      | 24.00 m |
| - Larghezza rettangolo di navigazione: | 20.00 m |
| - Indice di navigabilità:              | 2.80    |

I lavori previsti, lungo il canale, sono i seguenti:

- Scavi lungo il canale, mediante dragaggi, fino ad una profondità media di 4.25 m dalla quota del pelo idrico normale (posta alla 4.60 m s.l.m.);
- Demolizione e ricostruzione ad una quota più elevata dei manufatti di attraversamento, rispettando un tirante d'aria di 5.50 m sul pelo idrico normale: tale intervento riguarderà le seguenti opere:
  - Ponte Bardella;
  - Ponte Betto;
  - Ponte Confortino;

- Ponte Mizzana;
- ponte ferroviario merci.
- Realizzazione di una zona di viraggio all’inizio ed al termine del canale;
- Previsione di una zona di attracco per effettuare la manovra di scambio all’inizio ed al termine del canale;
- Scavo per la realizzazione di una curva alla confluenza del Boicelli con il Burana;
- Estesi scavi di dragaggio nel canale alla suddetta confluenza;
- Realizzazione di una pista ciclabile in sponda sinistra del Boicelli, tra ponte Mizzana e ponte Betto.

Gli interventi previsti, in sintesi, sono la riprofilatura dell’alveo e del paramento arginale e l’adattamento e/o la ricostruzione dei ponti.

Sulla base delle condizioni geologiche e idrogeologiche e delle caratteristiche dei terreni che saranno interessate a tali opere si ritiene che:

- La riprofilatura del paramento con il taglio del piede del rilevato arginale debba probabilmente essere preceduto da opere di contenimento che contrastino la spinta del rilevato parzialmente saturo;
- la profondità di infissione dell’organo di contenimento debba essere verificata altresì per evitare da fenomeni di sifonamento.

#### **4. INDAGINI IN SITO ESEGUITE**

Le indagini in sito sono state eseguite allo scopo di reperire i dati, le informazioni e i parametri necessari per le verifiche e la progettazione delle opere in questione.

Considerata la variabilità stratigrafica dei terreni presenti nell'area in esame, in senso sia verticale che orizzontale, si è ritenuto di programmare una serie di indagini puntuali in corrispondenza di ciascuna opera od intervento significativo.

In corrispondenza di ogni punto di indagine è stata eseguita una dettagliata ricostruzione stratigrafica attraverso le perforazioni a carotaggio; si sono inoltre eseguite prove penetrometriche statiche con misura della pressione interstiziale e della velocità delle onde di taglio. In alcuni punti sono inoltre state eseguite prove SASW (spectral analysis of surface waves).

Nei sondaggi a carotaggio continuo si sono infine eseguite prove di permeabilità a carico variabile; il grado di permeabilità dei terreni rappresenta infatti un dato particolarmente rilevante sia per le eventuali operazioni di drenaggio nel corso della costruzione sia per conoscere l'influenza della falda nella progettazione della composizione delle miscele da utilizzare nelle paratie e rappresenta, insieme ad altri, un parametro utilissimo per valutare il fenomeno del sifonamento.

In dettaglio sono state eseguite:

- 8 sondaggi a carotaggio continuo, di lunghezza compresa tra 10 e 28 metri, con prelievo di un totale di 21 campioni indisturbati ed esecuzione in foro di 35 prove SPT e di 14 prove di permeabilità Lefranc a carico variabile;
- 15 prove penetrometriche statiche con misura della pressione interstiziale, in 13 delle quali è stata anche misurata la velocità di propagazione delle onde di taglio.

## **5. CARATTERISTICHE GEOLOGICHE, IDROLOGICHE, ED IDROGEOLOGICHE GENERALI DELL'AREA**

Quanto riportato nel presente capitolo si basa essenzialmente su dati di carattere bibliografico, desunti da documentazione precedentemente redatta per il territorio ferrarese, tra cui i recenti (anno 2003) studi per il PSC di Ferrara.

### **5.1 SISMICITÀ DEL TERRITORIO FERRARESE**

Per il territorio comunale di Ferrara e per il Ferrarese in generale sono storicamente documentate numerose scosse sismiche. Molte di queste sono attribuibili a eventi esterni al territorio, come nel caso della maggior scossa del terremoto del Friuli, il 6 maggio 1976: la presenza di sedimenti clastici incoerenti e saturi d'acqua può essere infatti motivo di amplificazione di scosse sismiche anche provenienti da luoghi non vicini; si è trattato comunque di fenomeni che nel Ferrarese non hanno provocato danni.

Le scosse più forti sono invece riconducibili a eventi locali, imputabili a movimenti delle pieghe dell'Appennino sepolto, probabilmente amplificate dalla natura dei materiali sovrastanti.

Nell'analisi dei terremoti storici si può far riferimento solo a documenti scritti che segnalano i danni registrati nei vari luoghi in cui il sisma ha fatto sentire i suoi effetti. Fino a un secolo fa, infatti, non esisteva una rete di sismografi che permettesse di misurare l'ampiezza delle scosse sismiche e di ricostruirne la zona epicentrale (ossia l'area

superficiale più fortemente interessata dal movimento) e l'ipocentro, (vero punto di partenza delle onde sismiche, in profondità).

Relativamente ai terremoti storici, gli eventi più gravi sono stati il terremoto di Ferrara del 1570 (grado 8) e quello di Argenta del 1624 (grado 8,5). Il primo ha danneggiato anche Portomaggiore e altri paesi per un raggio di circa 10 di chilometri dall'epicentro, ed è stato avvertito anche a Ravenna, Bologna, Reggio Emilia e Venezia. Indagini effettuate negli ultimi anni gli assegnano un ipocentro a 7 Km di profondità, nei livelli più profondi della Dorsale Ferrarese. Confrontando la posizione degli ipocentri con le strutture dell'Appennino sepolto, si può in effetti vedere che la maggior parte dei sismi sono attribuibili a movimenti che interessano il fianco sud della Dorsale Ferrarese, ossia della struttura più settentrionale del complesso delle Pieghe Ferraresi

Il Comune di Ferrara è attualmente dotato di una rete di sismografi locali, disposti per il monitoraggio microsismico del giacimento geotermico di Casaglia; il sistema è stato realizzato per registrare eventuali fenomeni indotti dall'emungimento e dalla reiniezione del fluido geotermico. Il sistema, che si compone di 6 stazioni di rilevamento (ciascuna dotata di geofoni calati in pozzi profondi dai 16 ai 60 m), distribuite su un'area di circa 100 Km<sup>2</sup>, ha registrato sia le scosse dei terremoti naturali più vicini, sia piccole scosse, non avvertite ne' dagli abitanti ne' dai sismografi della rete nazionale, riconducibili a movimenti tettonici in atto in altre parti della "Dorsale" e in generale delle "Pieghe Ferraresi".

Si può pertanto concludere che il territorio comunale di Ferrara, e in particolare il settore più vicino alla città e a sud-est della stessa, è soggetto ad una certa sismicità, ben maggiore della sismicità evidenziabile per territori vicini quali quelli di Rovigo, Mantova e Ravenna. A questo tipo di pericolosità è dunque necessario adeguare anche le tecniche costruttive.

Si tenga presente che, mentre la carta della sismicità edita nel 1984 vedeva i comuni del Ferrarese come "non classificati", la nuova mappa della pericolosità sismica messa a punto nel 1998 dal Gruppo di Lavoro costituito dal Servizio Sismico Nazionale per la proposta di riclassificazione sismica del territorio nazionale, relativamente al Ferrarese considera asismici solo i comuni di Berra, Mesola e Goro, il comune di Argenta ricade in 2° categoria (territori suscettibili di terremoti dal 7° al 9° grado Mercalli) e tutti gli altri comuni in 3° categoria (territori suscettibili di terremoti fino al 7° grado Mercalli).

Ai sensi dell'ordinanza 3274 del 20 marzo 2003 il territorio nazionale è suddiviso in zone sismiche, contrassegnate da un diverso valore del parametro  $a_g$  (accelerazione orizzontale massima). Il valore di  $a_g$  è espresso come frazione dell'accelerazione di gravità  $g$  e, per la zona 3, zona di classificazione del Comune di Ferrara, esso vale 0.15g.

## 5.2 I FENOMENI DI SUBSIDENZA

La subsidenza è un fenomeno che, in tutto il territorio ferrarese come in generale nella bassa Pianura Padana, ha prodotto e produce notevoli danni, sia lungo la costa che

nell'entroterra (e quindi anche nel territorio comunale in esame), dove rappresenta un importante fattore di rischio.

Infatti, a causa delle basse pendenze in gioco, esso ostacola il deflusso delle acque superficiali, alterando il profilo longitudinale degli alvei fluviali e, soprattutto, dei canali di scolo e dei collettori fognari; modifica inoltre i dislivelli che gli impianti idrovori debbono vincere per avviare le acque verso mare, ostacola l'irrigazione e riduce i franchi di coltivazione.

I fenomeni di subsidenza accertati nel territorio comunale di Ferrara sono di carattere sia naturale che artificiale.

I fenomeni di abbassamento del suolo connessi a subsidenza naturale sono legati sia al costipamento dei sedimenti più recenti, sia alla risposta isostatica della crosta al variare dei carichi superficiali (soprattutto depositi sedimentari) o comunque in movimenti di neotettonica. Sulla base di dati archeologici e di sondaggi si può affermare che nel territorio comunale il tasso di subsidenza naturale, variabile da zona a zona, è stimabile in valori inferiori ad 1 mm/anno.

I fenomeni di carattere artificiale possono essere imputati in prevalenza ad abbassamenti dei livelli piezometrici di falde di bassa e media profondità (causati da emungimenti di acqua in quantità eccessiva rispetto alla capacità di ricarica spontanea delle falde stesse) e ad abbassamenti della falda freatica per fini di bonifica.

Dall'interpretazione dei dati disponibili emerge che i movimenti registrati nella prima metà del XX secolo siano attribuibili, oltre che alla subsidenza naturale, anche ad abbassamenti della superficie freatica collegati agli ultimi interventi di bonifica o di miglioramento di condizioni di scolo delle acque superficiali.

I maggiori movimenti verificati nei decenni successivi appaiono invece in prevalenza legati ad abbassamenti delle superfici piezometriche, legati ad eccessivi sfruttamenti di acquiferi confinati.

Attualmente il fenomeno risulta generalmente in attenuazione, probabilmente per la chiusura di molti impianti industriali e frigoriferi, oltre che per il fatto che il prelievo dalle falde profonde è stato regolamentato. Rimane il fatto che i valori di abbassamento rilevati anche recentemente risultano ben più elevati di quelli attribuibili alla sola subsidenza naturale, anche in zone dove non risultano essere praticate né estrazioni di acqua o di idrocarburi, e possono essere considerati ormai irrilevanti anche gli abbassamenti connessi alle bonifiche.

Nell'area circostante al canale Boicelli la subsidenza totale viene stimata in 7-9 mm/anno nel periodo 1970-1990, ed in 6-8 mm/anno nel periodo 1990-1999.

### 5.3 GEOMORFOLOGIA, GEOLOGIA E STRATIGRAFIA GENERALE

L'assetto morfologico del territorio è il risultato dell'evoluzione Olocenica della pianura ferrarese, con particolare riguardo agli ultimi 3000 anni, con la progradazione dell'apparato deltizio del Po, che fece seguito alla trasgressione Flandriana, con lo sviluppo di canali distributori, oggi rimasti come residui dossivi a far da limite a catini interfluviali morfologicamente depressi, anche in relazione al maggiore tasso di subsidenza effetto della maggiore costipabilità dei sedimenti fini.

Dal punto di vista geomorfologico il panorama risulta dominato, oltre che dal Po attuale, dal paleoalveo del Po di Ferrara e del Volano a Sud; tale corso può essere fatto risalire all'età del Bronzo, ma non è da escludere che possa essere più antico.

La distribuzione dei paleo-canali (oggi rimasti come paleo-alvei, dossivi e non), dei ventagli e canali di rotta associati e dei catini interfluviali, condiziona il flusso della falda freatica, anche in virtù del fatto che le zone depresse sono soggette a bonifica e qui la falda è tenuta forzatamente bassa dall'opera di sollevamento meccanico delle acque ad opera di impianti idrovori.

In genere i paleoalvei corrispondono a zone di distribuzione e di alimentazione della falda freatica, mentre i catini interfluviali corrispondono a zone di drenaggio e richiamo delle acque.

Sulla base di dati di carattere bibliografico relativi all'area in esame, dal punto di vista litostratigrafico può essere definita la seguente stratigrafia media:

- Orizzonte 0: suolo agrario e/o terreno di riporto.
- Orizzonte 1: Strato limoso (orizzonte 1a), localmente da limoso sabbioso a marcatamente sabbioso (orizzonte 1b), sede della falda freatica in corrispondenza dei livelli più permeabili. Tale orizzonte è il prodotto della dinamica alluvionale recente dell'area, sviluppata in tempi storici; i livelli e le lenti sabbiose e limoso-sabbiose sono da mettere in relazione con la divagazione di paleocanali minori e di canali e ventagli di rotta dell'apparato deltizio del Po. In corrispondenza dei paleoalvei maggiori le sabbie risultano prevalenti e di maggiore spessore, senza mai però andare in amalgamazione con il sottostante orizzonte 3 sabbioso.
- Orizzonte 2: Strato da limoso ad argilloso (orizzonte 2a) con intercalazioni torbose (orizzonte 2b) e, più raramente, sabbiose. Questo orizzonte corrisponde ad una fase di bassa energia, con depositi in prevalenza fini, che precede la progradazione dell'apparato deltizio recente. Corrisponde al sistema di paludi interne che si situava a tergo della massima trasgressione marina Flandriana.
- Orizzonte 3: strato sabbioso sede della I falda in pressione; tale strato può essere suddiviso in 2 livelli da un setto fine, comunque non continuo.
- Orizzonte 4: strato argillo-limoso.
- Orizzonte 5: strato sabbioso sede della II falda, in pressione.

Gli orizzonti da 3 a 5 appartengono alla dinamica deposizionale della media pianura fredda del Pleistocene Superiore, con apparati distributori ad elevata competenza di trasporto, tipo *braided*, ed elevata continuità areale del litosoma sabbioso.

## 5.4 IDROGEOLOGIA

Con riferimento alle caratteristiche idrogeologiche dell'area, sulla base di dati di carattere bibliografico può essere definita, dall'alto verso il basso, la sequenza stratigrafica di seguito descritta.

- Livello 1, eterogeneo, costituito da terreni a granulometria prevalentemente fine (limi, argille, limi sabbiosi con tutti i termini intermedi) di spessore variabile ma mediamente compreso tra 5 e 7.5 metri. Localmente in superficie sono presenti materiali di riporto, per uno spessore generalmente non superiore al metro. Sono inoltre presenti livelli più o meno continui di litologia relativamente permeabile (sabbie fini e sabbie limose), sede della falda freatica. L'origine di tali sedimenti è legata all'azione deposizionale dei corsi d'acqua minori, unitamente agli episodi di rotta del fiume Po. La sovrapposizione di queste azioni ha determinato la formazione di corpi sedimentari, vicendevolmente troncati o anastomizzati, con caratteristiche di permeabilità fortemente eterogenee; la caratteristica geometrica dominante, per quel che riguarda i termini sabbiosi più permeabili, è l'aspetto lentiforme dei corpi e la mancanza di una chiara continuità spaziale, sia in senso orizzontale che verticale. In alcuni settori può essere presente un orizzonte piuttosto continuo e talvolta affiorante, da mettere in relazione con la localizzazione di alcuni paleoalvei secondari. I termini sabbiosi, sede dell'acquifero freatico, sono spesso direttamente affioranti, e comunque sempre molto superficiali. Relativamente al fiume Po, non sembra essere presente alcuna connessione idraulica con l'acquifero freatico.
- Livello 2, prevalentemente argilloso, costituito da termini granulometricamente fini di colore grigio, con locale aumento della componente limosa, alternati a locali livelletti centimetrici sabbiosi. Sono spesso presenti residui vegetali e livelletti torbosi di spessore da centimetrico a decimetrico. Lo spessore complessivo del livello, generalmente non inferiore ai 5 metri, mediamente si attesta sui 10 metri. L'orizzonte separa l'acquifero freatico superficiale dal primo acquifero in pressione sottostante.
- Livello 3, prevalentemente sabbioso, di granulometria variabile ma generalmente grossolana, in cui si rinvencono locali e subordinate intercalazioni limose e limoso-argillose. Tale orizzonte permeabile si rinviene generalmente a profondità superiori ai 12 metri e mediamente dell'ordine dei 20 metri, con spessori medi dell'ordine dei 20 metri e mai inferiori ai 6 metri. Le profondità massime raggiunte da tale livello sono dell'ordine dei 40-45 metri. Tale livello è sede del primo acquifero in pressione, il più importante serbatoio sotterraneo d'acqua dolce utilizzato per scopi privati e industriali. In funzione della sua profondità e delle caratteristiche litologiche dei terreni sovrastanti, per tale corpo sabbioso si possono escludere relazioni idrodinamiche con i corpi idrici superficiali, con esclusione del fiume Po.

- Livello 4, prevalentemente argilloso, si rinviene a profondità sempre superiori ai 30-35 metri. L'orizzonte separa il primo acquifero in pressione, presente nel livello 3, dal secondo acquifero in pressione sottostante.

Per l'area in esame si valutano nel seguito i livelli delle prime due falde idriche: la falda più superficiale (freatica) presente nei livelli relativamente più permeabili della copertura del livello 1 e la falda (in pressione) presente nelle sabbie del livello 3.

La relazione tecnica predisposta per il PSC di Ferrara, presenta dati recenti ed originali, derivanti da misure dirette appositamente effettuate in numerosi pozzi e piezometri distribuiti sul territorio comunale.

In particolare i livelli di falda sono stati misurati in due distinte campagne, effettuate nel dicembre 2002 e nel giugno 2003. Le due piezometrie sono state determinate in 2 condizioni idrologiche estreme:

- in dicembre le misurazioni sono state effettuate in occasione di una piena eccezionale del Po, una delle più importanti degli ultimi anni, con un picco di piena a +2.02 m sullo zero idrometrico;
- in giugno le misurazioni sono state effettuate in concomitanza della magra peggiore di epoca storica, con valore minimo a fine Giugno di -6.77 m sullo zero idrometrico.

Le due ricostruzioni disponibili rappresentano pertanto una base estremamente significativa di valutazione del comportamento degli acquiferi in risposta a sollecitazioni idrauliche estreme e di segno opposto.

#### **5.4.1 Falda freatica**

Nel mese dicembre si individua una direzione di flusso non univoca e costante, definibile a livello medio regionale verso SSE.

La morfologia della falda risulta piuttosto articolata, sottolineando così la natura frammentaria dei corpi sabbiosi superficiali. Tale andamento è da mettere in relazione sia all'andamento del sottostante livello poco permeabile e localmente molto prossimo al piano campagna, anche alle variazioni del comportamento idraulico dei terreni ed ai caratteri del reticolo artificiale che ne costituisce, oltre all'infiltrazione diretta dell'acqua meteorica, il principale sistema di alimentazione.

Nel mese di dicembre lungo il canale Boicelli il tetto della falda si trovava ad una quota media dell'ordine dei 4,4 m s.l.m., con valori leggermente inferiori in alcuni punti per la presenza di aree probabilmente interessate da estrazione di acqua.

I rapporti con l'idrografia superficiale non risultano del tutto chiari; per il fiume Po non si evidenzia infatti alcuna influenza sulla falda freatica, mentre il canale Burana ed il Boicelli si direbbero, anche per le caratteristiche degli argini, in connessione idraulica con

l'acquifero freatico. Il canale Boicelli si direbbe alimentato da esso ad ovest e alimentante verso est, mentre il canale Burana alimenta la falda, soprattutto a sud di esso.

Nel mese di giugno si evidenzia in termini generali una situazione simile a quella di dicembre, con direzione di flusso verso ESE ed una frammentarietà della morfologia, con alti e bassi irregolarmente disposti.

I rapporti con il reticolo idrografico artificiale sono chiaramente di alimentazione sia del canale Boicelli, che del canale Burana; l'escursione della falda freatica da dicembre a giugno presenta però, nella zona interessata dal canale Boicelli, variazioni limitate ed essenzialmente negative, come ci si attenderebbe passando da una condizione pluviometrica intensa e prolungata ad un periodo siccitoso e con forte evapotraspirazione. Sulla base di tali considerazioni appare chiara la funzione dei diversi corsi d'acqua artificiali, correlata al loro regime ed al diverso effetto regimante che ne deriva sulla falda. Il canale Burana ha il tipico regime di canale irriguo per l'estate e rete scolante per l'inverno, mentre il canale Boicelli è un elemento della rete di navigazione interna, quindi presenta limitate escursioni durante l'anno.

#### **5.4.2 Prima falda in pressione**

Nel mese di dicembre l'effetto alimentante del Po (ad un livello idrometrico oltre 3 metri superiore a quello registrato nella primavera successiva) domina l'andamento del deflusso, che presenta un verso medio regionale in direzione SSE. La piezometria locale è fortemente influenzata dal regime dei prelievi attuato all'interno dei complessi industriali e da quelli per scopo acquedottistico.

Nel mese di dicembre lungo il canale Boicelli il tetto della falda in pressione si trovava ad una quota media variabile tra i 5 m s.l.m. a nord, fino ai 2,5-3,0 s.l.m. m a sud.

Nel mese di giugno si osserva un radicale mutamento della situazione, con il livello idrometrico del Po, elemento che governa l'acquifero, decisamente ridotto. In questa situazione non si individua un verso di deflusso definito, bensì un'area a NE con flusso prevalentemente in direzione del Po, un'area a NW con flusso in direzione dell'esteso cono di pompaggio di un campo pozzi, ed il resto dell'area con deflusso regionale in direzione SSE.

Il livello piezometrico di giugno è mediamente più basso rispetto a quello di dicembre con valori compresi tra 0 e 3 metri; tale diminuzione si fa più sensibile avvicinandosi sia al Po che alle zone di emungimento.

Nel mese di giugno lungo il canale Boicelli il tetto della falda in pressione si trovava ad una quota media dell'ordine dei 2 m s.l.m. a nord, 1,5 m s.l.m. nel settore centrale e 3 m s.l.m. a sud.

## 6. ASSETTO GEOLOGICO DI DETTAGLIO LUNGO L'OPERA IN PROGETTO

Le caratteristiche stratigrafiche dei terreni presenti in asse al canale oggetto di intervento sono state ricostruite sulla base di quanto ricavabile dalle indagini in sito eseguite, con particolare riferimento ai sondaggi a carotaggio continuo.

In **Allegato 1.2.2** è stata predisposta una sezione geologico-stratigrafica in scala orizzontale 1:5.000, che presenta la ricostruzione stratigrafica lungo il canale Boicelli definita sulla base delle correlazioni tra le unità stratigrafiche individuate attraverso i sondaggi geognostici a carotaggio continuo e confermate dalle altre tipologie di indagine eseguite.

La sezione correla tra loro alcune unità stratigrafiche, individuate e definite anche in relazione a quanto ricavabile dalla bibliografia geologica relativa all'area in esame e descritto nel capitolo precedente:

### **UNITA' A:**

#### **Terreno vegetale e materiali di riporto.**

L'unità è suddivisibile in due tipologie di depositi di diversa origine; si sottolinea che le stratigrafie dei sondaggi, analogamente alle ulteriori tipologie di indagini in sito eseguite, non consentono di discriminare con certezza i materiali costituenti gli argini del canale dai sottostanti materiali, di riporto o naturali. Di conseguenza nella sezione geologico-stratigrafica le Unità A e B sono state accorpate.

- **Terreno vegetale:** costituito prevalentemente da limo sabbioso o limo con sabbia con abbondanti resti vegetali e resti di sostanza organica. Colore prevalente nocciola e più raramente grigio scuro.
- **Materiali di riporto:** Riporti eterogenei ed eterometrici costituiti principalmente da materiali granulari passanti da limi sabbiosi a sabbie limose con intercalazioni di sabbie M/G, argille limose, ghiaie M/F. Disomogenea distribuzione di resti vegetali, frammenti di legno, mattoni, ferri e resti conchigliari. In corrispondenza dei sondaggi S5 ed S6 presenza di calce e calce con limo.

#### UNITA' B:

##### **Depositi alluvionali di bassa pianura olocenici (attuali).**

- **Facies limoso-sabbiosa:** Costituiti principalmente da strati di limi sabbiosi e/o sabbia fine limosa con sparsi resti vegetali e concrezioni di ossidazione oca. Colore prevalentemente nocciola, subordinatamente da grigio chiaro a grigio scuro soprattutto al passaggio con l'unità sottostante. Localmente intercalazioni centimetriche di limi argillosi o argille limose nocciola.

#### UNITA' C:

##### **Depositi di piana interfluviale e palustri.**

L'unità è suddivisibile in due tipologie di depositi, di diverse caratteristiche granulometriche:

- **Depositi di piana interfluviale:** limi sabbiosi, sabbie limose localmente sabbie M/F. Sparsi resti vegetali, noduli di cementazione calcarea, frammenti di legno e rari resti conchigliari. Colore da grigio chiaro a grigio scuro. (C1)
- **Depositi palustri:** argilla da debolmente limosa a limosa, argilla limosa torbosa, limo argilloso, limo argilloso torboso, torba fibrosa. Abbondanti e sparsi resti organici, vegetali e noduli di concrezione calcarea. Colore variabile da grigio chiaro, grigio scuro fino a nero in corrispondenza delle torbe fibrose. (C2)

#### UNITA' D:

##### **Depositi di media pianura (Pleistocene sup. Olocene inf.)**

- **Depositi sabbiosi:** sabbie eterometriche prevalentemente medie, frequentemente di natura micacea. Locali intercalazioni di strati sabbiosi limosi e raramente sabbiosi con ghiaia fine. Colore da grigio chiaro a grigio scuro.

#### UNITA' E:

##### **Depositi connessi ai paleoalvei principali**

- **Facies sabbioso-limosa:** sabbie eterometriche da medie a medio grosse con intercalazioni di sabbie fini limose e/o limi sabbiosi. Colore passante da grigio/nocciola a grigio (E1).
- **Facies sabbioso-ghiaiosa:** sabbia eterogenea da fine a grossolana con sparsa e rara ghiaia fine. Rari resti di legno. Colore prevalente nocciola e subordinatamente da grigio chiaro a grigio scuro. (E2)

Nella pagina seguente viene infine presentata una tabella sintetica in cui sono riportate le suddivisioni stratigrafiche adottate in ciascun sondaggio, i valori del livello di falda

misurato al termine della perforazione ed i dati di permeabilità ricavati dalle prove a carico variabile eseguite in foro.

Sondaggio	Intervallo di profondità (m)	Tipologia di terreno	Livello di falda al termine della perforazione	Permeabilità (m/s)
S1	0,00-7,30	A - B	-6,07 m da p.c.	-15,0 m: $3,2 \cdot 10^{-5}$ -25,5 m: $5,5 \cdot 10^{-5}$
	7,30-11,10	C2		
	11,10-13,40	C1		
	13,40-26,00 (ff)	D		
S2	0,00-8,20	A - B	-2,10 m da p.c.	-21,0 m: $1,09 \cdot 10^{-7}$
	8,20-12,40	C2		
	12,40-19,45	C1		
	19,45-28,00 (ff)	D		
S7	0,00-3,05	A	-2,60 m da p.c.	-5,0 m: $1,33 \cdot 10^{-6}$
	3,05-5,55	C1		
	5,55-9,00	C2		
	9,00-10,00 (ff)	C1		
S3	0,00-4,20	A - B	-2,70 m da p.c.	-16,5 m: $1,16 \cdot 10^{-5}$ -24,0 m: $1,81 \cdot 10^{-4}$
	4,20-13,55	C2		
	13,55-24,00 (ff)	D		
S8	0,00-4,85	A - B	-3,89 m da p.c.	-5,0 m: $1,37 \cdot 10^{-5}$
	4,85-7,40	C1		
	7,40-10,50	C2		
S4	0,00-4,45	A	-4,60 m da p.c.	-7,5 m: $4,36 \cdot 10^{-6}$ -21,0 m: $9,88 \cdot 10^{-6}$
	4,45-11,40	E2		
	11,40-15,50	C2		
	15,50-16,15	C1		
	16,15-28,00 (ff)	D		
S5	0,00-4,05	A - B	-5,03 m da p.c.	-9,0 m: $2,72 \cdot 10^{-5}$ -22,5 m: $1,10 \cdot 10^{-5}$
	4,05-18,55	E		
	18,55-20,00	C2		
	20,00-28,00 (ff)	D		
S6	0,00-6,00	A - B	-2,50 m da p.c.	-21,0 m: $1,47 \cdot 10^{-6}$ -23,0 m: $2,61 \cdot 10^{-5}$ -26,0 m: $2,61 \cdot 10^{-5}$
	6,00-9,45	C1		
	9,45-20,30	C2		
	20,30-27,00 (ff)	D		

## 7. ALLEGATI

Sono allegati alla presente relazione tecnica i seguenti elaborati grafici:

Allegato n. 1.2.2 - Relazione geologica e idrogeologica - sezione geologico-stratigrafica