



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI FERRARA

DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA TERRA

SEZ. DI GEOLOGIA APPLICATA E TERRITORIO GRUPPO DI IDROGEOLOGIA

Nuovo piano urbanistico di Ferrara
Supporto tecnico idrogeologico
alla procedura di valutazione e
sostenibilità ambientale
zona Ferrara nord-Pontelagoscuro

Relazione n° 1/03.01a
ottobre 2003



**DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA TERRA
SEZIONE DI GEOLOGIA APPLICATA E TERRITORIO
GRUPPO DI IDROGEOLOGIA**

**SUPPORTO TECNICO IDROGEOLOGICO ALLA PROCEDURA DI
VALUTAZIONE E SOSTENIBILITÀ AMBIENTALE PER IL
NUOVO PIANO REGOLATORE DEL COMUNE DI FERRARA**

ZONA FERRARA NORD-PONTELAGOSCURO

Gruppo di lavoro:
responsabile della ricerca e coordinatore: Alessandro Gargini

Hanno collaborato:

Monica Pasini

Igor Maccanti

Andrea Messina

Leonardo Piccinini

Arianna Zanella

Federica Biavati

Igor Villani

1. PREMESSA

Su richiesta e committenza dell'amministrazione comunale di Ferrara (Ufficio Urbanistica) è stato eseguito il presente studio geologico e idrogeologico, che riguarda la fascia di territorio relativa alla porzione settentrionale del comune di Ferrara fra la propaggine Nord del centro storico ed il Po; tale area è da ora in poi denominata Area Nord Ferrara.

Lo studio, formalizzato tramite una convenzione di ricerca fra Amministrazione Comunale di Ferrara e Consorzio Ferrara Ricerche, per conto dell'Università, è consistito in attività di raccolta, misura sperimentale, elaborazione e restituzione cartografica di dati ed informazioni idrogeologiche al fine di produrre degli elaborati cartografici che costituiscono sia una rappresentazione territoriale delle caratteristiche idrogeologiche del territorio sia una valutazione della attitudine del territorio medesimo a sostenere i potenziali impatti territoriali derivanti dalle trasformazioni urbanistiche di progetto.

Tutti gli elaborati cartografici prodotti restituiscono informazioni georeferenziate e sono basati su un *data-base Access* dei dati primari e su un sistema informativo su piattaforma ESRI (*ArcView*). L'insieme del *data-base*, del GIS e degli elaborati costituisce gli allegati al presente *report* che illustra la metodologia e commenta le informazioni cartografate.

Lo studio viene illustrato in 3 successivi *step*: la storia geomorfologica e geologica del territorio che ha costruito in maniera dinamica l'infrastruttura naturale del sottosuolo nella quale si manifesta la dinamica delle falde idriche, l'assetto idrogeologico attuale frutto della storia di cui al punto precedente e rappresentabile tramite l'idrostruttura degli acquiferi e la

distribuzione dei carichi piezometrici; la valutazione del futuro espressa dagli elaborati derivati sotto forma di definizione della vocazione alla trasformazione urbanistica del territorio

Per assetto idrogeologico qui si intende la idrodinamica delle falde idriche soggiacenti al territorio comunale; la vocazione ad un determinato uso del territorio sarà pertanto valutata sulla base della previsione qualitativa degli effetti che tale uso potrà indurre sul flusso e sulla composizione chimica dell'acqua di falda.

Ogni *step* sarà spiegato tramite gli elaborati di accompagnamento, acclusi alla presente relazione sia in forma digitale che cartacea. Gli elaborati sono numerati progressivamente secondo l'ordine in cui verranno esposti. Si distingue fra elaborati di base ed elaborati derivati (o di supporto tecnico).

1 – INQUADRAMENTO DELL'AREA

Il territorio in esame è interamente situato all'interno del comune di Ferrara; è delimitato a Nord dal fiume Po, ad Est si estende poco oltre via Calzolari, lambendo gli abitati di Francolino e Malborghetto di Boara, a Sud praticamente si ferma alla cinta muraria di Ferrara e ad Ovest non si discosta molto dal tracciato dell'Autostrada A13 Bologna-Padova.

Questa area, di circa 39 Km², contiene probabilmente le strutture antropiche e naturali cruciali per la comunità Ferrarese.

A Nord infatti il più importante fiume italiano regola e impone, con i suoi cicli di piena e di magra, le attività dei Consorzi di Bonifica per quello che riguarda le irrigazioni agricole e lo scolo, ma anche i prelievi di acqua ad uso idropotabile, industriale e la navigazione interna.

L'asse mediano Nord-Sud è sede della ferrovia che collega Bologna a Venezia, più ad Ovest decorre l'Autostrada A-13 mentre a Sud è situato il centro storico della città ed in posizione centrale il grande insediamento multisocietario di circa 250 ettari (di estensione comparabile a quello del centro storico di Ferrara) che il canale Boicelli divide dal parco industriale *Solvay* e dalla Cartiera Burgo. Inoltre nella stessa area hanno sede la discarica di Cà Leona di proprietà AGEA in gran parte dismessa, una discarica di inerti in Via Canapa, lo Zuccherificio SFIR di Pontelagoscuro e infine il campo pozzi e i depuratori di ACOSEA, la società che fornisce acqua potabile all'intera città.

L'area è attraversata da una complessa rete di canali di scolo e irrigazione, ossia dai canali dedicati alle acque "esterne ai fiumi" del territorio comunale di Ferrara, che fanno parte del cosiddetto Bacino Burana-Volano-Canal Bianco (Bondesan, 2002) e dal canale Boicelli che rappresenta la bretella di raccordo idroviaria tra il Po Grande e il Po di Volano.

I principali canali artificiali che attraversano l'area in esame pertanto sono:

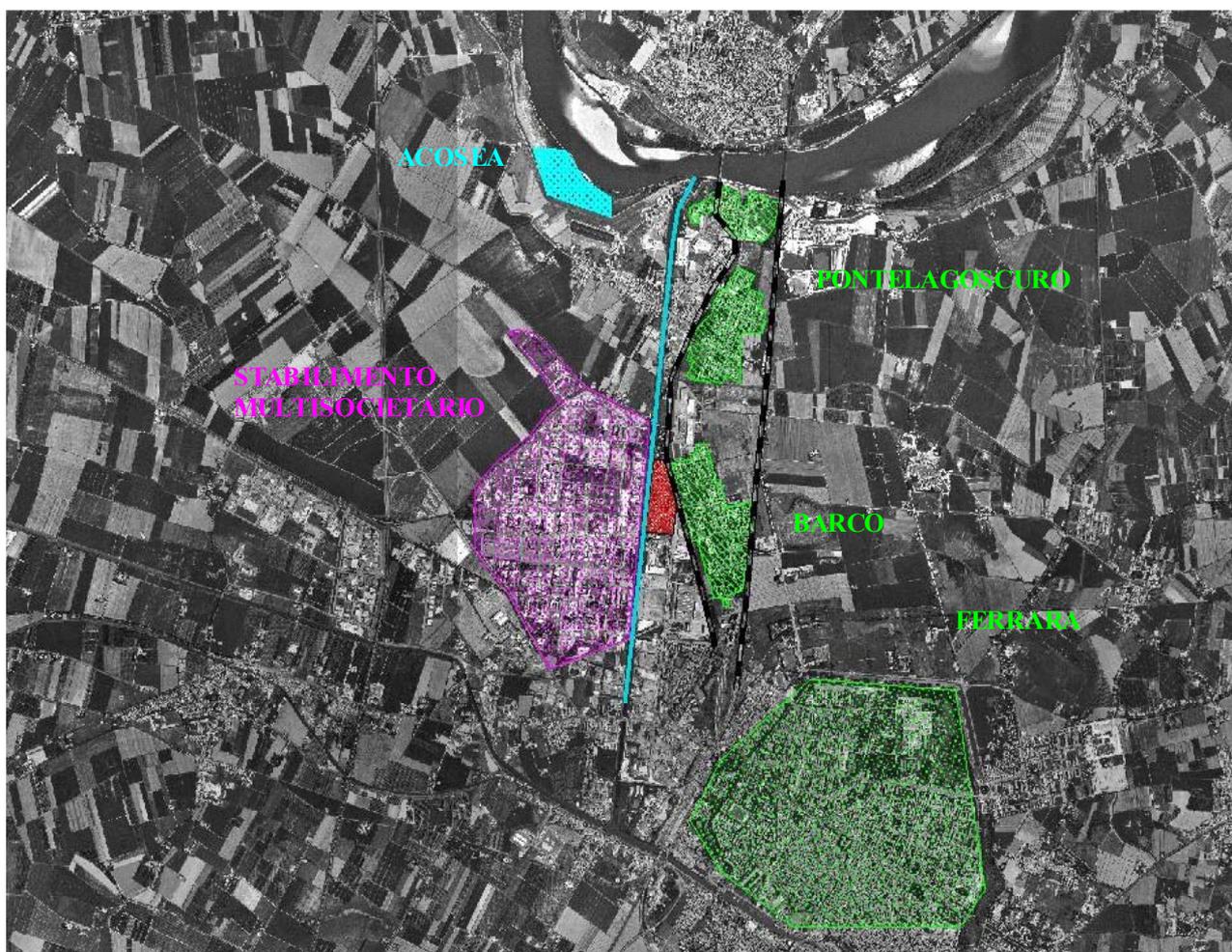
- Il canale Boicelli che rappresenta una bretella di raccordo idroviario tra il Po grande e il Po di Volano; oltre ad acque del Po e a scoli provenienti dalla zona industriale di Ferrara, può convogliare le acque di scolo eccedenti del Consorzio di Bonifica I Circondario. Attualmente può recapitare al Po di Volano fino a 10 m³/s (Bondesan, 2002). Presenta un tracciato rettilineo praticamente N-S, si innesta nel Po Grande per mezzo della biconca di Pontelagoscuro. Presenta in genere debole cadente idraulica da Nord verso Sud.
- Il Canal Bianco che è a servizio della fascia settentrionale del territorio ferrarese, ha origine a Settepolesini e sottopassa il Boicelli alla Botte del Betto. Scarica le sue acque nella sacca di Goro, previo sollevamento, ed è prosecuzione dello scolo di Casaglia, attraversa l'area da Ovest verso Est tra gli abitati di Barco e Pontelagoscuro.
- Il canale di Burana, che poi diviene il fiume Po di Volano (quest'ultimo conserva il nome più per storia che per effettivo regime fluviale, è infatti a tutti gli effetti un canale). Inizia alla Botte Napoleonica dove le acque di quest'ultimo sottopassano il

Panaro. Il Burana insiste sull'area di studio nella sua parte Sud occidentale e presenta cadente da Ovest verso Est.

Oltre alla periferia cittadina sono da segnalare centri urbani importanti quali Barco e Pontelagoscuro ed altri insediamenti residenziali e produttivi minori.

E' facile osservare come sia un precario equilibrio a garantire la convivenza tra recettori altamente sensibili (fiume, campo pozzi ACOSEA, canali e centri abitati) e fonti potenzialmente molto pericolose quali stabilimenti chimici e discariche; la gestione di questa delicatissima area non può quindi prescindere da una accurata conoscenza del sottosuolo, ai fini del corretto dimensionamento di attività di monitoraggio e bonifica.

L'immagine di seguito riportata è la ortofoto digitale dell'area di studio (Compagnia Generale Riprese Aeree S.p.A, 2000).



2 - EVOLUZIONE GEOLOGICA E GEOMORFOLOGICA DEL TERRITORIO

Da un punto di vista idrogeologico, in relazione quindi all'acqua sotterranea, la evoluzione del territorio comunale di Ferrara è frutto di una complessa rete di interazioni fra la realtà geologica e lo sviluppo antropico ed economico dell'area. I processi geomorfologici e sedimentologici che hanno agito sul territorio hanno determinato la distribuzione dei corpi sedimentari acquiferi e delle falde idriche in essi contenute. Il Po e la rete di canali determinano la distribuzione dei battenti idraulici di ricarica e di alimentazione delle falde.

La dinamica geologica del territorio viene “letta” sia dall’osservazione del rilievo morfologico (analisi del microrilievo), sia dalla lettura delle forme geomorfologiche sia dalla rappresentazione, tramite sezioni geologiche o superfici, della struttura geologica del sottosuolo. Tali tematismi sono essenziali ai fini della corretta interpretazione dei fenomeni idrogeologici dato che l’acqua sotterranea scorre sulla base della distribuzione dei corpi geologici ed in base, per quanto concerne particolarmente la falda freatica, alla distribuzione delle quote altimetriche.

2.1 - ALTIMETRIA (MICRORILIEVO-MODELLO DIGITALE DEL TERRENO)

In un’area di bassa pianura, quale quella Ferrarese, la lettura ed interpretazione della dinamica idrogeologica non può prescindere dall’assetto morfologico del territorio, espresso dalla distribuzione delle quote. Per una più diretta lettura della morfologia è stato ricostruito il modello digitale del terreno (DTM). Il modello è basato sulla Carta del Microrilievo realizzata come supporto al PSC del comune di Ferrara nel 1995 (Bondesan per Amministrazione Comunale di Ferrara, 1995). L’interpretazione geomorfologica del microrilievo verrà data commentando gli elaborati relativi alla geomorfologia.

L’area oggetto di studio è interamente coperta dalla Carta Tecnica Regionale (C.T.R.) e precisamente dal Foglio 185, Tavola SE per quanto riguarda la cartografia in scala 1:25.000. Questa cartografia è ricavata da appositi rilievi aerofotogrammetrici e il sistema di georeferenziazione con coordinate assolute è quello di *Gauss-Boaga*, sistema al quale abbiamo riferito anche tutte le coordinate dei punti di controllo o misura definiti durante l’attività di ricerca. Per creare la base topografica di riferimento da utilizzare durante le elaborazioni numeriche si sono utilizzati gli Elementi in scala 1:5000 necessari alla copertura dell’area, opportunamente georeferenziati e assemblati mediante *CAD Overlay* (Autodesk). Gli elementi utilizzati sono il 185111, 185112, 185121, 185122, 185123, 185124, 185151, 185161 e 185164.

Il DTM è stato costruito partendo dalla digitalizzazione della carta del microrilievo e interpolando poi i dati con interpolatore di Arc-View 3.2 . Si è quindi creato un *grid* sulla base del quale è stata creata una superficie visualizzabile in 3D. Attualmente il DTM è disponibile nell’allegato digitale in formato .jpg mentre la carta del microrilievo è disponibile in formato .shp.

ELABORATI DI BASE

Elaborato n° 1/03.11 - ZONA FERRARA NORD-MODELLO DIGITALE DEL TERRENO

L’area è morfologicamente limitata da 2 barriere morfologiche rappresentate dall’argine meridionale del Po a Nord e dal paleoalveo del Po di Ferrara a Sud (ambedue con quote comprese fra i 10 e 12 m s.l.m.); tali 2 rilievi sono dominanti. Fra i 2 si nota una zona rilevata nell’area del petrolchimico, presumibilmente da mettere in relazione ad un paleoalveo minore. E’ ben visibile la depressione del fossato che cinge la cinta muraria. La zona altimetricamente più depressa è situata ad Est di Barco dove si raggiungono quote di qualche metro s.l.m.

2.2 - GEOMORFOLOGIA

L’assetto morfologico del territorio è il risultato dell’evoluzione geomorfologica Olocenica della pianura ferrarese, con particolare riguardo agli ultimi 3000 anni. Per

evoluzione geomorfologica si intende specificamente 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.

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, quindi, i paleo-alvei corrispondono a zone di distribuzione e di alimentazione della falda freatica, laddove i catini interfluviali corrispondono a zone di drenaggio e richiamo delle acque.

Gli elementi geomorfologici sono derivati dalla Carta Geomorfologica della Pianura Padana scala 1:250.000 (M.U.R.S.T. 1997) e dalla Carta Geomorfologica di supporto al PSC del 1995 (Bondesan per Amministrazione Comunale di Ferrara, 1995).

I principali corpi sedimentari dell'area in esame sono disponibili nell'allegato digitale in formato *shape* (*.shp).

Elaborato n°1/03.12 – ZONA FERRARA NORD – CARTA GEOMORFOLOGICA

Dalla carta geomorfologica si può osservare come il panorama risulti 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 (Bondesan *et alii*, 1995). Altre strutture, secondo Bondesan, si possono facilmente individuare più a Nord di questa:

- un ampio dosso meandriforme che si snoda fra Vigarano Pieve e Mezzana da identificarsi con il più antico tracciato del Po di Ferrara;
- il dosso di un corso padano secondario, all'estremità ovest dell'area, con direzione NW-SE, che congiunge il Po attuale oltre Casaglia Vecchia alla struttura precedente provenendo da Ravalle;
- nella zona Nord-Est tra Pontelagoscuro e Francolino una serie di strutture meno evidenti quali ventagli e canali di rotta, tracce fluviali, dossi e evidenze antropiche;
- un ampio dosso, che si stacca dal Po di Ferrara presso Mizzana e si dirige verso Pontelagoscuro e che è ben riconoscibile fino alla località Botte fra il canal Bianco e il Boicelli; questa struttura è particolarmente interessante in quanto su di essa si estende l'intero polo multisocietario;

Su quest'ultimo dosso fu edificato dagli Estensi il cosiddetto "Argine Traversagno" da Mizzana a Pontelagoscuro, antico argine interno al territorio realizzato a protezione della città dalle inondazioni provenienti da Ovest, di cui rimangono le tracce visibili in foto aerea. Lungo questo dosso correva poi una strada, che è riportata nelle vecchie Tavole al 25.000 dell'IGM.

2.3– GEOLOGIA

La struttura geologica del territorio è messa in risalto da profili geologici e dalla rappresentazione di superfici principali di interesse idrogeologico.

Tale ricostruzione è particolarmente importante per la zona in esame laddove l'interesse per la struttura geologica profonda è maggiore, in relazione all'importanza ed alla criticità ambientale della falda in pressione ospitata nelle sabbie del Pleistocene Superiore.

Per la rappresentazione della struttura geologica del territorio sono stati raccolti tutti i dati litostratigrafici disponibili, provenienti da diverse fonti (pubblicazioni scientifiche, elaborati tecnici del piano regolatore comunale del 1995, stratigrafie fornite da sondatori locali, piani di caratterizzazione dello stabilimento petrolchimico multisocietario e dello stabilimento *Solvay*).

DATA-BASE STRATIGRAFIE

Tutti i dati litostratigrafici raccolti sono stati immagazzinati in un *data-base*; l'immagazzinamento ha comportato una interpretazione semplificata della stratigrafia, provvedendo ad individuare le principali superfici litologiche che si riscontrano nel sottosuolo della pianura ferrarese.

Genericamente una stratigrafia media dell'area è rappresentabile nel modo seguente:

Orizzonte 0: Suolo agrario o Terreno di riporto

Orizzonte 1: Strato limoso (orizzonte 1a), localmente da limoso sabbioso a francamente sabbioso (orizzonte 1b), sede della falda freatica in corrispondenza dei livelli più permeabili

Orizzonte 2: Strato da limoso ad argilloso (orizzonte 2a) con intercalazioni torbose (orizzonte 2b) e, più raramente, sabbiose

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

L'orizzonte 1 è il prodotto della dinamica alluvionale recente dell'area, sviluppata in tempi storici; i livelli e le lenti sabbiose e limoso-sabbiose sono in relazione alla divagazione di paleo-canali minori, di canali e ventagli di rotta dell'apparato deltizio del Po. In corrispondenza dei paleo-alvei maggiori (Po di Ferrara) le sabbie sono prevalenti e sono di maggiore spessore, senza mai però andare in amalgamazione con il sottostante orizzonte 3 sabbioso.

L'orizzonte 2 corrisponde ad una fase di bassa energia, con depositi fini in prevalenza, che precede la progradazione dell'apparato deltizio recente. Corrisponde al sistema di paludi interne che si situava a tergo della massima trasgressione marina flandriana

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.

Alla luce di tale stratigrafia tipo, il data-base stratigrafico è stato organizzato nel modo seguente. Ogni stratigrafia, ottenuta da dati geognostici e da perforazioni di pozzi-piezometri, è stata georiferita in coordinate *Gauss-Boaga*, è stata determinata, dall'esame della Carta Tecnica Regionale in scala 1:5000, la quota assoluta al piano campagna. Successivamente ogni stratigrafia è stata interpretata, alla luce del modello concettuale precedente, e sono state pertanto definite le quote assolute e le profondità da piano-campagna delle superfici indicate nella lista di seguito riportata.

Sono state utilizzate, ai fini della codifica delle superfici, le seguenti abbreviazioni: ip: isopaca; ib: isobata; ii: isoipsa; Sb: sabbie; Ar: argille; Tr: torbe; Cop: copertura (ciò che è situato al di sopra del primo acquifero in pressione); Tfr: tetto delle sabbie che ospitano la falda freatica; Int: litosoma argilloso interposto fra il I ed il II acquifero in pressione; C: confinato; T: tetto; L: letto; 1C: primo acquifero confinato incontrato dalla superficie; 2C: secondo acquifero in pressione incontrato dalla superficie.

ip-ArCop: spessore in metri di depositi a bassa permeabilità (da limi argillosi ad argille) nella copertura;

ip-SbCop: spessore in metri di sabbie e sabbie limose nella copertura;
 ib-TfrSbCop: isobata (profondità da p.c.) del tetto delle sabbie ospitanti l'acquifero libero;
 ip-TrCop: spessore in metri del materiale organico (torba) nella copertura;
 ip-ArInt: spessore in metri delle argille interposte tra il primo e il secondo acquifero in pressione ;
 ib-T1C : isobata (profondità in metri da piano campagna) del tetto delle sabbie würmiane ospitanti il primo acquifero confinato;
 ii-T1C : isoipsa (quota in metri sul livello del mare) del tetto delle sabbie würmiane ospitanti il primo acquifero in pressione;
 ii-L1C: isoipsa del letto delle sabbie würmiane ospitanti il primo acquifero in pressione
 ip-1C: spessore in metri del litosoma sabbioso ospitante il primo acquifero in pressione;
 ip-Tr1C: spessore in metri del materiale organico (torba) all'interno del litosoma sabbioso ospitante il primo acquifero in pressione ;
 ii-T2C: isoipsa del tetto delle sabbie ospitanti il secondo acquifero in pressione.

In tal modo, attingendo al *data-base*, sarà possibile ricostruire le superfici di interesse o gli spessori dei litosomi di interesse per ogni sotto-area di progetto. Nel presente studio, in particolare, verrà illustrata la rappresentazione areale del parametro che riteniamo più interessante ai fini idrogeologici, quella dello spessore delle sabbie ospitanti l'acquifero freatico.

Elaborato n°1/03.13(a,b,c) – ZONA FERRARA NORD – SEZIONI IDROSTRATIGRAFICHE

Per la ricostruzione del profilo topografico era essenziale anche una attenta definizione del profilo morfologico dell'alveo del Po, anche ai fini della determinazione dei rapporti idrodinamici fra fiume e falda in pressione. Un ingegnere del Magistrato del Po che si chiamava Brioschi alla fine del secolo XIX batté un centinaio di sezioni topografiche nel Po al fine di verificarle periodicamente. Queste sezioni topografiche, anche batimetriche perché in parte sono sott'acqua, vengono ribattute sistematicamente ogni 3-4 anni. 2 dei 3 profili geologici intersecano l'alveo del Po e sono pertanto stati raccordati alle 2 sezioni Brioschi più vicine, la 64 D e la 65 A, per meglio evidenziare i rapporti tra l'alveo inciso e la successione stratigrafica dei primi metri del materasso alluvionale.

Dal confronto di successive sezioni relative al 1954, 1967, 1980 e 1991, si nota che, per quanto riguarda Pontelagoscuro (sezione Brioschi n° 65), il filone della corrente si è spostato preferenzialmente verso il centro, con un approfondimento di 4.4 m nei 37 anni considerati; verso la riva di sinistra si è verificato un considerevole abbassamento al piede dell'argine, nell'ordine di 7 m, mentre sulla destra l'alveo, dopo essere stato in erosione fino al 1980, nell'ultimo rilievo risulta in fase di sedimentazione con un innalzamento, relativo al periodo 1980-1991, di 2.6 metri (Spensieri, 2001).

I profili A-A' e E-E' sono stati condotti nel primo caso in direzione SSE-NNW, nel secondo in direzione N-S, sono stati completati, per quanto concerne la morfologia dell'alveo del Po, con le sezioni Brioschi n° 64 D e n° 65 A. Il profilo C-C' ha orientazione ESE-WNW. Le 3 sezioni si intersecano in un'area che è contenuta all'interno dello stabilimento Solvay.

Per redigere tali profili sono state utilizzate un totale di 59 stratigrafie, le risultanze cartacee sono state acquisite con scansione digitale e realizzate definitivamente con l'utilizzo di *AUTOCAD 2000 (Autodesk)*.

Per semplificare e rendere più leggibile la situazione del sottosuolo abbiamo suddiviso le litologie incontrate in base alle loro caratteristiche idrogeologiche, da cui la dizione di sezioni idrostratigrafiche; pertanto abbiamo distinto, semplificando ed interpretando l'originaria eterogeneità litologica delle fonti consultate, litosomi a dominante sabbiosa a comportamento acquifero e litosomi a dominante limo-argillosa a comportamento acquitardo o acquicludo.

Nei profili allegati sono stati rappresentati anche i livelli superficiali occupati da laterizio, fondamenta o asfalto, anche per rendere più facilmente identificabili le aree utilizzate a livello industriale.

Dall'esame delle sezioni e da quel che emerge nei dati provenienti dalla bibliografia si può delineare una sequenza idrostratigrafica tipo dell'area analizzata, costituita, dall'alto verso il basso da:

- un primo livello eterogeneo costituito da terreni a granulometria prevalentemente fine (limi, argille, limi sabbiosi e tutti i termini intermedi) di spessore variabile ma mediamente compreso tra 5 e 7.5 metri. Localmente e in superficie sono presenti materiali di riporto, calcestruzzo e inerti per uno spessore generalmente non superiore al metro. Inglobati sono presenti livelli più o meno continui di litologia relativamente acquifera (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, di forma non sempre tabulare, 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 quanto in quello verticale. Solo al di sotto dell'area occupata ora dallo Stabilimento Multisocietario si può notare, con evidenza comune tra i 3 profili realizzati, un orizzonte piuttosto continuo e talvolta affiorante; da notare che tale maggiore continuità spaziale è da mettere in relazione con la localizzazione di quella sorta di paleoalveo secondario che avevamo definito nell'analisi altimetrica e geomorfologica. I termini sabbiosi, sede dell'acquifero freatico, talora sono direttamente affioranti sul piano di campagna, più in generale sono comunque sempre molto superficiali per cui si devono attentamente valutare e tenere in considerazione i rapporti con l'idrografia superficiale. Per quel che riguarda invece il fiume Po, da quel che si evince dai profili, e come vedremo in seguito anche dalle caratteristiche idrodinamiche, non si prefigura affatto una connessione idraulica tra l'acquifero freatico e il grande corso d'acqua; questo è anche confermato dall'assenza nell'area di studio di quei fenomeni di sifonamento di subargine noti con il nome di "fontanazzi" o "gorghi".
- un secondo livello prevalentemente argilloso, costituito da termini granulometricamente fini di colore grigio, con a tratti aumento della componente limosa, alternati a locali livelletti centimetrici sabbiosi. Queste argille sono sede sovente e senza continuità areale di residui vegetali e livelletti torbosi aventi potenza da centimetrica a decimetrica. Lo spessore di questo livello non è mai inferiore ai 5 metri, mediamente si attesta sui 10 metri. Tale livello può essere denominato delle "argille".
- un terzo livello prevalentemente sabbioso grigio con granulometria variabile ma generalmente grossolana, in cui si rinvengono locali e subordinale intercalazioni limose e limoso-argillose. Questo orizzonte permeabile non si rinviene a profondità inferiori ai 12 metri da piano campagna ed il tetto

mediamente si attesta sui 20 metri da piano campagna. Lo spessore è mediamente nell'ordine di 20 metri, comunque non scende mai sotto i 6 metri. Tale livello è il Complesso Acquifero A1 del Gruppo Acquifero A di Di Dio *et al.* (1998). E' questo livello la sede del primo acquifero in pressione, il più importante serbatoio sotterraneo d'acqua dolce utilizzato per scopi privati e industriali. Lo chiameremo delle "sabbie würmiane". La massima profondità del letto, dai sondaggi a disposizione non è sempre individuabile, tuttavia pare appropriato individuarla attorno ai 40-45 metri da piano campagna. Per la profondità di tale corpo sabbioso e per le caratteristiche litologiche dei litotipi sovrastanti, è logico e giustificato escluderne la relazione idrodinamica con i corpi idrici superficiali, esclusione fatta per il fiume Po. A tal proposito è stata posta particolare attenzione sull'andamento dell'acquifero in prossimità dell'alveo, tramite lettura comparata delle sezioni Brioschi e dei *log* stratigrafici prossimi all'alveo. Purtroppo, sia per la scarsa disponibilità di dati nelle immediate vicinanze dell'argine, sia per la natura del dato disponibile (si trattava sempre di *log* di perforazione di pozzi a scopo approvvigionativo e non sondaggi geognostici), non è stato possibile chiarire in modo univoco e inequivocabile il rapporto tra alveo e primo acquifero in pressione. Sarà quindi l'interazione tra tali risultanze e quelle idrodinamiche a fornire un quadro conoscitivo più esauriente.

- un quarto livello prevalentemente argilloso che costituisce il complesso intercalare fine che si rinviene a profondità sempre superiori ai 30-35 metri. E' l'orizzonte con caratteristiche di acquicludo che separa i Complessi Acquiferi A1 e A2. Lo chiameremo delle "argille di base"

Elaborato n°1/03.14 – ZONA FERRARA NORD–ISOPACHE DELLE SABBIE SUPERFICIALI

Tramite procedura di interpolazione assistita da computer è stata ricostruito l'andamento dello spessore dei livelli da sabbiosi a sabbioso limosi, corrispondenti all'orizzonte 1b, e sede di filtrazione della falda freatica. Lo spessore è il cumulativo di tutti i livelli relativamente più permeabili incontrati anche se intercalati a livelli fini.

Lo spessore dei litosomi sabbiosi superficiali (e quindi lo spessore dell'acquifero freatico) è ricostruito con maggiore dettaglio laddove vi sono più punti di controllo, quindi al di sotto degli stabilimenti industriali.

Risulta evidente una fascia a maggiore spessore (valori attorno a 5-6 m) che si snoda da SW a NE dipartendosi dal paleo-alveo del Po di Ferrara in località Mezzana, che attraversa lo stabilimento multi-societario, passa ad Ovest di Pontelagoscuro Nuovo e giunge al Po attuale presso il ponte della Ferrovia. Altri massimi relativi di spessore (attorno ai 4-5 m) sono localizzati ad Ovest del Petrolchimico in corrispondenza del paleo-alveo da Cavalle, a Sud presso la cinta occidentale delle mura di Ferrara in corrispondenza del paleo-alveo del Po di Ferrara ed al di sotto di Barco. Anche nella parte orientale dell'area vi sono localmente valori superiori a 4 m.

Per il resto l'area è caratterizzata da spessori complessivi inferiori a 2 m.

Da notare che in corrispondenza del campo-pozzi di Acosea si ha localmente un affioramento delle sabbie würmiane per cui gli spessori raggiungono valori assai elevati.

I dati litostratigrafici, pertanto, confermano la presenza di un elemento permeabile a sviluppo nastriforme al di sotto del petrolchimico, elemento che sembra più continuo di quanto non appaia dalla lettura del micro-rilievo e della carta geomorfologia.

Elaborato n°1/03.15, 1/03.16 – ZONA FERRARA NORD – MORFOLOGIA DEL TETTO E DEL LETTO DELLE SABBIE WÜRMIANE

Per l'importanza del litosoma acquifero in esame (orizzonte 3) e per una migliore definizione delle sue caratteristiche geometriche, ne sono state ricostruite le superfici del letto e del tetto.

Delle 294 stratigrafie disponibili e archiviate, 174 sono state utilizzate per descrivere la morfologia del tetto delle sabbie (elaborato 5), 41 invece hanno contribuito a materializzare la superficie del letto dell'acquifero (elaborato 6).

Mediante interpolazione dei dati puntuali operata con software Surfer 7.0 (Golden Software, 1999), algoritmo di *Kriging* e variogramma lineare di *default*, si sono create le superfici di tetto e di letto del litosoma sabbioso ospitante il primo acquifero in pressione. I due *grid* per tetto e letto, sono uguali per dimensioni della cella e spaziatura, oltre alle dimensioni complessive; ovviamente va tenuto conto del differente dettaglio di informazione disponibile per le due superfici.

Le superfici del tetto e del letto del primo acquifero in pressione sono riferite al livello medio del mare. Spesso i pozzi o sondaggi non raggiungevano il livello argilloso basale, per cui i punti di controllo son Con riferimento a questi elaborati, si nota che:

Per quel che riguarda il tetto (Elaborato 5), la superficie interpolata appare piuttosto irregolare, anche in virtù dei numerosi punti di controllo disponibili. L'acquifero non si incontra a più di 7/8 m s.l.m. e non oltre -34 m s.l.m.; il primo valore è localizzato a SW, dove anche la superficie topografica è più alta e dove si ha il paleoalveo del Po di Ferrara, il secondo coincide con le zone altimetricamente più depresse. Si nota un alto che dal Po si diparte verso SSE lungo la direttrice della Statale Adriatica ed è ben visibile l'alto del Po di Ferrara-Volano a S. E' interessante notare che al di sotto dello Stabilimento Multisocietario la morfologia è piuttosto regolare, con un livello abbastanza costante, mentre nella vicina Solvay, la superficie si approfondisce talora anche di parecchi metri rispetto all'adiacente area. In generale si osserva che il tetto sale verso il Po e questa potrebbe essere una evidenza di possibile comunicazione diretta dal subalveo.

Relativamente al letto dell'acquifero (Elaborato 6), la morfologia è piuttosto regolare (anche per il minor numero dei punti di controllo), le argille basali non compaiono prima di -15 m s.l.m. e non oltre 60 m s.l.m.; l'area in cui questo limite inferiore si approfondisce maggiormente si colloca in prossimità delle zone anche altimetricamente più depresse. Quindi anche la base delle sabbie tende ad approfondirsi da Nord a Sud. Da notare che sotto allo stabilimento Solvay, tale superficie, al pari del tetto, si approfondisce, a dispetto delle aree circostanti nelle quali si mantiene più regolare. C'è un alto relativo in corrispondenza della città di Ferrara, nella parte SE dell'area.

Elaborato n°1/03.17 – ZONA FERRARA NORD-ISOPACHE DELLE SABBIE WÜRMIANE

Dalla morfologia del tetto e del letto, per differenza tra i 2 valori, tramite Surfer 7.0, è stata ottenuta la carta isovalore dell'isopaca del primo acquifero in pressione (spessore in metri del primo acquifero in pressione)

Si evidenzia subito un aspetto importante ai fini della valutazione della produttività dell'acquifero stesso, ovvero lo spessore non è mai inferiore a 7 metri; si può dire in generale che si mantiene nella maggioranza dei casi abbondantemente oltre i 10 metri. Localmente raggiunge potenza di 50 metri, tuttavia queste si possono considerare situazioni estreme e

localizzate. L'aumento considerevole si ha in presenza del paleoalveo del Po di Ferrara e un generale ispessimento si ha pure nella zona di Pontelagoscuro, a Nord.

Potrebbe sembrare che laddove è maggiore lo spessore dell'acquifero in pressione si ha anche un maggiore spessore del litosoma sabbioso superficiale; si noti la zona sotto lo stabilimento multisocietario che si continua verso Pontelagoscuro nuovo ed il già citato paleoalveo del Po di Ferrara.

In generale si può dire, pertanto, che il litosoma delle sabbie würmiane tende ad approfondirsi, come tetto e letto, da Nord a Sud; quanto allo spessore si hanno 2 fasce a maggiore potenza, localizzate rispettivamente in posizione coincidente con il paleo-alveo del Po di Ferrara (ove si possono avere localmente anche fenomeni di amalgamazione con le sabbie superficiali) e, con direzione SW-NE, fra Mezzana e Pontelagoscuro nuovo con successiva piegatura a gomito in direzione NW verso Pontelagoscuro vecchio.

3- L'ASSETTO IDROGEOLOGICO

L'assetto idrogeologico attiene alla caratterizzazione del campo di moto della falda, quindi alla ricostruzione della distribuzione dei carichi piezometrici e delle direttrici di flusso, ed alla messa in evidenza della distribuzione della trasmissività idraulica, in relazione alle caratteristiche di spessore e di conducibilità idraulica dei depositi sabbiosi.

Sulla base del modello concettuale geologico prima definito, sono 2 le falde idriche oggetto di studio: la falda più superficiale (che chiameremo freatica) ospitata e fluente nei livelli relativamente più permeabili della copertura e la falda ospitata e fluente nelle sabbie würmiane, che chiameremo I falda in pressione.

Per la ricostruzione del campo di moto delle 2 falde suddette sono state effettuate specifiche campagne (rispettivamente freaticometriche per la falda superficiale e piezometriche per la falda in pressione) durante le quali sono stati anche rilevati i livelli idrici dei canali principali (in connessione idraulica con la falda superficiale) e del fiume Po (in possibile comunicazione con la falda in pressione). Per la ricostruzione della distribuzione della trasmissività idraulica ci siamo basati sui dati stratigrafici come verrà illustrato nel commento dei relativi elaborati.

3.1 - CAMPO DI MOTO DELLE FALDE IDRICHE

La carta del campo di moto o del flusso di falda è uno strumento essenziale al fine di definire la possibilità di migrazione di un contaminante e per definire la esposizione a flussi orizzontali di un possibile recettore (pozzo perforato per uso idropotabile).

La carta è frutto di interpolazione assistita da computer dei dati puntuali di carico idraulico effettivamente misurato. L'elaborazione finale è mostrata, tramite ArcView 3.2, su ortofotocarta; quest'ultima è la TerraitalyTM-it2000 (ortofoto digitale a colori dell'intero territorio italiano- ©Compagnia Generale Ripresearee S.p.A.-Parma) effettuata con volo aereo 98/99 e scala nominale 1:10000.

DATA-BASE POZZI-PIEZOMETRI

È stato effettuato un censimento dei pozzi e piezometri relativi. Il censimento ha avuto una prima fase di raccolta delle denunce di pozzi presso il Servizio Provinciale Difesa Suolo di Ferrara-Autorità Bacino del Po di Volano, una seconda fase di raccolta delle schede di pozzi e piezometri situati entro lo stabilimento petrolchimico multisocietario e *Solvay* ed,

infine, una terza fase di censimento porta a porta particolarmente nelle aree sprovviste di punti di controllo denunciati. Durante il censimento sono state raccolte tutte le informazioni principali della perforazione, particolarmente per quanto riguarda la profondità del perforo, la posizione dei tratti filtrati, la possibilità di effettuare una misura di livello piezometrico e la eventuale presenza di impianto di sollevamento per spurgare e campionare il pozzo.

Nonostante il grande numero di punti di prelievo e di controllo relativi in particolare al primo acquifero in pressione, purtroppo diversi motivi hanno ridotto il numero di pozzi misurabili a circa un decimo di quelli censiti. Il problema principale è di tipo costruttivo; mentre infatti i pozzi interessanti la falda libera sono essenzialmente pozzi cosiddetti “alla romana”, ossia pozzi in genere scavati a mano, di grande sezione, spesso diametro superiore al metro, quindi facilmente accessibili per la misurazione del livello statico al loro interno, i pozzi che attingono al primo acquifero in pressione, per la notevole produttività o trasmissività dello stesso e per la profondità di scavo, sono invece di piccolo diametro (mediamente 2.5 pollici). Nella maggior parte di questi ultimi il tubo filtrante viene infisso a pressione, spesso con circolazione di acqua che porta in superficie il detrito di fondo; raggiunto l’acquifero, si avvita la testa del tubo in PVC, finestrato in genere negli ultimi 3 o 4 metri, ad un autoclave elettrica che abbia una prevalenza tale da aspirare, per depressione, l’acqua necessaria al fabbisogno privato.

Per questo genere di pozzi, i più numerosi perché economici da realizzare, risulta impossibile registrare il livello dell’acqua all’interno del foro, perché appunto si tratta di una struttura chiusa (la presenza di fori pregiudicherebbe il pescaggio della pompa). Quindi solo in pochi casi, soprattutto durante la campagna invernale, è stato possibile misurare il livello statico, grazie alla collaborazione dei proprietari che hanno smontato provvisoriamente la struttura aspirante in quanto non necessitavano dell’utilizzo del pozzo stesso.

In altri casi, con presenza di pompa a mano esterna, è stato possibile lo smontaggio della stessa per accedere alla colonna d’acqua. Tuttavia la presenza di una valvola che ha lo scopo di evitare lo svuotamento della intera colonna d’acqua e quindi pregiudicare il pescaggio del pozzo, per perdita dell’innescò, in alcuni casi ha comunque impedito di effettuare la misurazione del livello statico all’interno del pozzo.

I pozzi più agevoli dal punto di vista dell’esecuzione di una piezometria sono quelli ad uso industriale, per portate d’esercizio superiori ad un paio di litri al secondo. Questi, infatti, presentano un diametro generalmente di 125 mm, sono dotati di una pompa sommersa avvitata alla testa di un tubo coassiale. Con questa tipologia costruttiva rimane lo spazio per passare con un sondino elettrico nell’intercapedine tra la parete del pozzo rivestita da un tubo metallico e il tubo coassiale della pompa sommersa. Per accedere a tale intercapedine in genere si utilizza uno dei 2 fori lasciati per lo sfiato e per fare passare i cavi elettrici di alimentazione della pompa sommersa.

Nel caso dei piezometri la misura è stata ovviamente sempre agevole, infatti sono strumenti ideati appositamente per scopo d’osservazione, ovvero monitoraggio fisico e chimico delle acque di falda.

Il livello dei canali è stato rilevato in punti per i quali era nota la quota ricavata dalla C.T.R., quindi sui ponti. Il Po è stato misurato per riscontro dal ponte sulla S.S. 9 “Adriatica”, tuttavia per maggiore precisione si è fatto uso dei dati forniti dal Magistrato delle Acque del Po, forniti a cadenza giornaliera.

La misura dei livelli è stata effettuata in 2 campagne; la prima si è svolta nei giorni dal 16 al 19 Dicembre 2002 e la seconda nei giorni 3-5 Giugno 2003. Per il numero elevato dei punti di misura e per esigenze tecnico-organizzative, per le rilevazioni nelle strutture operative quali stabilimenti chimici, ACOSEA e AGEA, non è stato possibile concentrare tutto il lavoro in un giorno.

I pozzi e piezometri utilizzati non sono distribuiti in maniera omogenea sull’area perché ovviamente la densità è notevole in tutti quei siti che necessitano di un controllo accurato delle acque sotterranee; pertanto numerosi punti di misura sono stati reperiti nel Polo

Multisocietario, circa 70, circa 40 quelli in Solvay, 20 quelli di proprietà AGEA (discarica e inceneritori), 5 nel campo pozzi ACOSEA e oltre 30 quelli di proprietà privata (vedi tabella sottostante).

DISTRIBUZIONE POZZI E PIEZOMETRI MISURATI		
PROPRIETARIO	FREATICI	PROFONDI
Polimeri Europa	4	3
Syndial	13	20
Crion	1	0
P-Group	1	1
Hydro Agri	6	6
Ambiente	2	1
Basell	5	7
Solvay	16	23
ACOSEA	0	5
AGEA	19	3
Privati	12	20

Abbiamo avuto l'opportunità fortunata di determinare le 2 piezometrie in 2 condizioni idrologiche estreme, soprattutto per quanto riguarda l'acquifero in pressione. Infatti, mentre in Dicembre si assisteva ad 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 abbiamo effettuato le misure in concomitanza della magra peggiore di epoca storica, con valore minimo a fine Giugno di -6.77 m sullo zero idrometrico. Per tale motivo, le 2 ricostruzioni, rappresentano una base estremamente significativa di valutazione scientifica del comportamento degli acquiferi in risposta a sollecitazioni idrauliche estreme di segno opposto.

Come ben noto, soprattutto nei territori di pianura nei quali si ha a che fare con morfologie topografiche e piezometriche generalmente piatte, diventa di fondamentale importanza una determinazione quanto più accurata possibile della quota assoluta dei punti di misura quali boccapozzo o strutture di completamento dei piezometri.

Questa finalità si raggiunge attraverso laboriose triangolazioni topografiche facendo riferimento ai punti quotati o caposalda che IGM ha disposto sul territorio italiano. Con l'avvento delle nuove tecnologie di tipo satellitare è ora possibile determinare in maniera estremamente precisa le coordinate geografiche intese come latitudine, longitudine e quota di un punto qualsiasi posto sulla superficie terrestre.

Con un GPS differenziale a doppia frequenza Leica System 530 (vedi figura) abbiamo riferito le nostre misure alla rete IGM; in pratica tutti i bocca-foro esterni agli stabilimenti industriali sono stati georiferiti al caposaldo in località Botte e, successivamente, tale caposaldo è stato collegato ad un punto della rete IGM95 posto nelle immediate vicinanze (Stienta, RO) in modo da correggere tutte le misure effettuate attraverso i parametri di rototraslazione e consentire il ricalcolo dei punti stessi dal sistema di riferimento WGS84 al sistema Nazionale Roma 40. Ricordiamo che lo stabilimento multisocietario ha riferito le bocche foro relativamente ad un caposaldo interno allo stabilimento mentre la *Solvay* le ha riferite rispetto al caposaldo assoluto situato in località Botte presso Pontelagoscuro



Per il rilievo delle quote dei bocca-pozzo, si è posizionato un ricevitore GPS sul vertice della rete (MASTER), ove è rimasto fisso per tutto il tempo del rilievo, mentre un ricevitore (ROVER) si spostava ad ogni punto del quale era necessario determinare la quota.

La modalità di acquisizione cinematica “*Stop and Go*” consiste nell’appoggiare il ricevitore ROVER sul punto da definire, tenendolo il più possibile verticale (con l’ausilio di una livella sferica) e attendendo i 15 secondi impostati quale tempo di acquisizione.

In alcuni casi il valore di coordinate assolute così ottenuto si discostava anche di oltre mezzo metro da quello precedentemente usato come riferimento e desunto dal punto quotato più vicino disponibile sulla C.T.R.

Tutti i dati, georiferiti con coordinate *Gauss Boaga*, sono stati immessi in un foglio elettronico *Access*, allegato nel CD.

Elaborato n°1/03.18(a,b) – ZONA NORD FERRARA- MORFOLOGIA DELLA FALDA FREATICA

Per quanto riguarda la situazione nel mese di Dicembre (Elaborato 8a) si può osservare come non sia possibile individuare una univoca e costante direzione di deflusso, tuttavia il verso medio regionale è SSE. La morfologia della falda è piuttosto articolata, a sottolineare la natura frammentaria dei corpi sabbiosi sub superficiali. Questo andamento è correlato, oltre a quello del substrato poco permeabile, localmente molto prossimo al p.c., anche alle variazioni del comportamento idraulico dei materiali acquiferi ed ai caratteri del reticolo artificiale che costituisce, oltre all’infiltrazione diretta dell’acqua meteorica, il principale sistema di alimentazione. E’ infatti presente nel territorio una fitta rete idrografica che consente una suddivisione generale dello stesso in bacini delimitati da spartiacque sotterranei che individuano aree di alimentazione o ricarica e assi di drenaggio in corrispondenza degli abbassamenti. Per la bassa soggiacenza della falda il drenaggio spesso può essere legato alla evapotraspirazione.

Gli alti più rilevanti si hanno nell’area occupata dal Polo Multisocietario in relazione al paleolveo qui presente. Le zone relativamente più basse si individuano ad Est della Solvay, forse per l’effetto del pompaggio in atto nel livello confinato, e ad Est dell’area considerata, in

accordo con l'abbassamento della topografia. La quota minima di circa 2 m s.l.m. si ha a SW dove probabilmente acquifero freatico e profondo sono coalescenti e ad Est dove si ha anche la minima quota topografica. La quota massima di 5.6 m s.l.m. e si riscontra in 3 punti distinti all'interno del Polo Multisocietario.

Il gradiente varia tra $9 \cdot 10^{-3}$ e $3 \cdot 10^{-4}$, mediamente si attesta su valori nell'ordine di 10^{-3} .

I rapporti con l'idrografia superficiale non sempre sono chiari, ovvero se da un lato il fiume Po non denota la benchè minima influenza su tale falda, il canale di Burana e il Boicelli si direbbero, anche per le caratteristiche degli argini, in connessione idraulica con l'acquifero freatico. Il Boicelli si direbbe alimentato da essa ad Ovest e alimentante verso Est, mentre il canale di Burana alimenta la falda, soprattutto a Sud di esso.

La situazione a Giugno (Elaborato 8b) si presenta in termini generali simile a quella di Dicembre, la direzione del deflusso questa volta è ESE, permane una certa frammentarietà della morfologia, con alti e bassi irregolarmente disposti.

Le situazioni locali influenzano in modo sensibile il reticolo; un esempio è fornito dalla zona Nord di Pontelagoscuro dove, nella campagna di Giugno, abbiamo rilevato i livelli in 3 piezometri posti al perimetro di un'area residenziale costituita da villette a schiera; è possibile che il cospicuo livello di materiale riportato abbia originato una falda sospesa che presenta livelli mediamente maggiori delle aree circostanti. Poiché si definisce falda freatica la prima tavola d'acqua libera, non sospesa che si incontra a partire dal piano campagna, abbiamo escluso i relativi piezometri dall'interpolazione. La situazione geologica circostante lascia intendere che si tratti proprio di una falda sospesa; tale situazione in territori a così limitata variazione altimetrica diventa determinante e contribuisce a complicare non poco l'andamento morfologico della freaticimetria.

Gli alti più rilevanti permangono nell'area del Polo Multisocietario, i bassi maggiori sempre in Solvay e ad Est. La quota massima di 5.2 m s.l.m. si registra dentro lo stabilimento petrolchimico, la quota minima di 2.2 m s.l.m. si ha nell'estremità ad Est di un asse di drenaggio che parte all'altezza di Solvay; tale asse è chiaramente definito dallo scolo della Conca.

I valori medi di gradiente sono del tutto analoghi alla freaticimetria di Dicembre e i rapporti con il reticolo idrografico artificiale sono chiaramente di alimentazione sia del Boicelli e soprattutto del canale di Burana, che si configura come elemento fondamentale nella sua funzione irrigua estiva; infatti è ben chiaro come l'escursione della falda freatica da Dicembre a Giugno presenti un sensibile innalzamento dei livelli in corrispondenza di tale elemento idrografico, mentre nella zona centrale, governata dal Boicelli, le variazioni sono più limitate ed essenzialmente negative, come ci si attenderebbe infatti passando da una condizione pluviometrica intensa e prolungata ad un periodo siccitoso e con forte evapotraspirazione. Alla luce di queste considerazioni appare chiara la diversa funzione dei 2 corsi d'acqua artificiali, correlata al loro regime ed al diverso effetto regimante che ne deriva sulla falda; il Burana ha il tipico regime di canale irriguo per l'estate e rete scolante per l'inverno, mentre il Boicelli è un'elemento della rete di navigazione interna, quindi presenta limitate escursioni durante l'anno.

Anche la zona ad Est presenta un'aumento relativo delle quote in Giugno rispetto a Dicembre, infatti i punti di misura ivi presenti si collocano in un territorio decisamente più sfruttato dal settore agricolo, in particolare dalla frutticoltura, quindi anch'esso regimato idraulicamente al servizio delle necessità irrigue.

Elaborato n°1/03.19(a,b) – ZONA NORD FERRARA- MORFOLOGIA DELLA PRIMA FALDA IN PRESSIONE

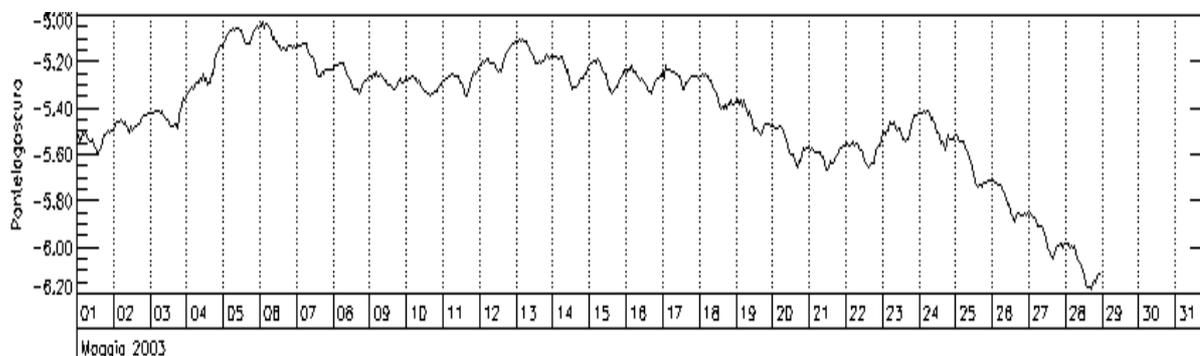
Nel mese di Dicembre (Elaborato 9a), l'effetto alimentante del Po, ad un livello idrometrico oltre 3 metri superiore a quello registrato nella primavera successiva, domina l'andamento del flusso con un verso medio regionale di deflusso in direzione SSE; la piezometria locale è fortemente influenzata dal regime di prelievi attuato all'interno del complesso industriale e da quelli per scopo acquedottistico.

In questo quadro, infatti, spiccano 2 notevoli depressioni a flusso radiale centripeto; si tratta del cono di pompaggio ACOSEA e di quello Solvay, il primo lambisce il Polo Multisocietario, il secondo lo interessa direttamente. Si nota nella zona di Pontelagoscuro un'asse di drenaggio con andamento Nord-Sud (coincidente, fra l'altro con la zona dove l'acquifero ha il tetto più alto e gli spessori maggiori).

Chiaramente l'alto più rilevante è rappresentato dal fiume Po; qui si raggiungono i 5,5 metri di quota sul livello del mare. Le depressioni si localizzano ovviamente al centro dei coni di emungimento con picco negativo in 2 pozzi ACOSEA in pompaggio a -13 m s.l.m..

Il gradiente idraulico arriva a livelli di $5 \cdot 10^{-2}$ dove la falda diventa piuttosto ripida in prossimità di forti e prolungati emungimenti, per il resto dell'area invece si mantiene nell'ordine di 10^{-3} .

Nel mese di Giugno (Elaborato 9b) lo scenario muta in maniera radicale; il livello idrometrico del Po, elemento che presumibilmente governa l'acquifero in questione, si è decisamente ridotto, essendo infatti passati da circa 5.5 metri s.l.m. a 2.15 metri s.l.m.. A tal proposito si mostra in figura l'andamento della magra primaverile del Po, a Pontelagoscuro, nel mese di Maggio 2003, ovvero fino ad alcuni giorni prima della nostra campagna di misura.



Andamento dei livelli idrometrici del Po a Pontelagoscuro durante la magra primaverile di Maggio 2003. I livelli sono riferiti allo zero idrometrico ovvero a 8,18 m s.l.m. (dati del Servizio Meteorologico Regionale)

Come si può osservare, il minimo del 28 Maggio è di circa -6.20 al di sotto dello zero idrometrico e poiché lo zero idrometrico è posto a 8.18 m s.l.m. siamo a circa 2 metri s.l.m..

Considerando quindi l'inerzia del sistema acquifero, la misura si è collocata probabilmente proprio in una delle situazioni più sfavorevoli dal punto di vista dell'apporto del fiume alla falda. Situazione estrema quindi ma non estremamente improbabile, infatti da uno studio del Servizio Meteorologico Regionale si parla di un tempo di ritorno stimato con analisi statistiche di 4 anni. Alla fine di Giugno, comunque, il livello del Po a Pontelagoscuro ha toccato -6.77 metri sullo zero idrometrico.

In tale contesto 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 del campo pozzi ACOSEA e il resto della zona studiata, se si esclude l'intorno della Solvay, con il solito verso di deflusso regionale SSE.

La morfologia della superficie piezometrica, appare, come a Dicembre, dominata dai coni di depressione indotti da ACOSEA e Solvay, tuttavia il primo ora interessa direttamente aree del Polo Multisocietario, infatti si riscontra tale abbassamento in un piezometro di proprietà Ambiente a Nord-Ovest dello stabilimento. La zona di richiamo della Solvay questa volta si estende maggiormente a Nord, interessa estesamente il Polo Multisocietario e richiama acque con un raggio di influenza di quasi 2 km (il raggio era invece di poco superiore ad 1 km in Dicembre).

Non è scomparso l'asse di drenaggio in direzione Nord-Sud nella zona di Pontelagoscuro, tuttavia si è invertita la direzione del flusso; a Dicembre il flusso era generalizzato dal Po verso Sud, ora vi è una zona nella quale, seppure con debole gradiente, il fronte di recapito è il fiume Po. Pertanto peculiare di Giugno è l'insorgenza di uno spartiacque sotterraneo poco a Sud di Pontelagoscuro, in direzione ESE, che separa due direttrici di flusso, una con gradiente in direzione del Po, l'altra in direzione Sud.

Una zona di alto relativo è incentrata sul Polo Multisocietario, di comune accordo tra le 2 piezometrie, qui si incontrano i valori di oltre 3.5 m s.l.m.. I bassi sono come a Dicembre centrati nei 2 principali coni di emungimento con minimo sempre di -13 m s.l.m. nel campo pozzi di ACOSEA. Il gradiente è del tutto comparabile con quello rilevato a Dicembre.

Relativamente a questi elaborati, si precisa che è stata omessa dall'interpolazione una misura relativa al piezometro PZPHA4 di Hydro Agri che presentava un livello totalmente sfalsato rispetto ai piezometri posti nelle immediate vicinanze, mentre risultava concorde con il livello del PZSHA6, piezometro superficiale a pochi metri di distanza; questo lascia supporre che per motivi costruttivi o di successivo infragilimento, tale piezometro attinga alla falda freatica piuttosto che alla sola profonda, mettendo in comunicazione le due e rilevando in tal modo un livello più alto.

Una situazione particolare è quella relativa al pozzo Z66P2 dello Zuccherificio SFIR di Pontelagoscuro; infatti per questo punto di misura la profondità è di 70 metri, mentre la posizione dei filtri è tale che il pozzo attinge acqua sia dal primo che dal secondo acquifero in pressione (Complessi Acquiferi A1 e A2). Questo pozzo, in pompaggio seppure non continuo e con portate variabili, determina una piccola depressione che comunque non è da imputare al solo primo acquifero in pressione; l'andamento generale della superficie piezometrica escludendo tale punto di misura, comunque, non cambia di molto. Inoltre, come si vedrà in seguito, dalla prova di pompaggio di lunga durata effettuata a 400 metri di distanza dal pozzo in questione, si è registrata una strana risalita del livello statico durante i 3 giorni di rilevamento in continuo dei livelli nel piezometro di controllo; questa risalita è compatibile cronologicamente con l'orario di chiusura dello zuccherificio. Si è preferito comunque mantenere tale misura nell'interpolazione in quanto comunque il livello acquifero considerato è influenzato dall'azione di tale pozzo.

Il livello piezometrico di Giugno è mediamente più basso rispetto a quello di Dicembre con valori compresi mediamente tra 0 e 3 metri; questa diminuzione si fa più sensibile avvicinandosi al Po e nelle zone di emungimento, dove raggiunge anche i 7 metri di deficit piezometrico. Tale risultato è prevedibile se si considera il fiume come principale fonte di alimentazione per l'acquifero.

3.2 TRASMISSIVITA' IDRAULICA DELL'ACQUIFERO

Dopo avere definito il campo di moto della falda tramite le misure freaticometriche e piezometriche è stata operata una valutazione della capacità trasmissiva della medesima, espressa dal prodotto dello spessore del serbatoio acquifero per la sua conducibilità idraulica. Tale parametro è essenziale per comprendere la produttività dell'acquifero, cioè la sua capacità intrinseca di condurre acqua; la zona di saturazione, quindi la falda, può essere

ubiquitaria in una certa area ma può essere molto variabile la sua velocità e portata di flusso in relazione, appunto, alle variazioni della sua trasmissività.

Per determinare lo spessore ci siamo basati sulle stratigrafie disponibili, attingendo al *data-base* delle stratigrafie già menzionato; per quanto riguarda la conducibilità idraulica, in mancanza di una copertura adeguata di prove di permeabilità sul territorio, ci siamo basati su valori tabellari assegnati sulla base delle caratteristiche granulometriche dell'acquifero. Comunque è stata effettuata una prova di portata di lunga durata per verificare la significatività dei valori assegnati (vedi più avanti). I valori tabellari sono desunti da Civita *et al.* (1999). Il tematismo della trasmissività è stato rappresentato in maniera discretizzata sul territorio secondo celle quadrate di 100 m di lato.

La procedura seguita, pertanto, è stata la seguente:

1) determinazione dello spessore dell'acquifero (freatico o in pressione); lo spessore è dato dalla somma di tutti i livelli da sabbiosi a limo-sabbiosi presenti, anche in intercalazione con fini, nell'ambito dell'orizzonte acquifero in oggetto; la determinazione viene effettuata relativamente ad ogni stratigrafia reale disponibile nella quale sia interamente compreso il livello acquifero in questione, fra la base ed il tetto;

2) assegnazione di un valore medio di conducibilità idraulica all'acquifero; tale valore è fornito da una media pesata, secondo lo spessore, di tutti i livelli compresi fra il tetto e la base dell'acquifero, compresi i livelli fini (in tal modo il valore della conducibilità idraulica viene abbassato in modo da tenere conto dei livelli fini "dispersi" nell'acquifero, che vengono a costituire una sorta di ostacolo al deflusso profondo);

3) determinazione del valore di trasmissività come prodotto dello spessore complessivo dell'acquifero per la sua conducibilità idraulica media; il valore ottenuto, espresso in m^2/s , viene trasformato nel suo logaritmo decimale, riconoscendo la natura log-normale della distribuzione dei valori di K (e quindi di T) in una popolazione naturale di misure;

4) interpolazione, assistita da computer, dei valori puntuali del logaritmo decimale della trasmissività secondo una griglia (*grid*) di discretizzazione formata da elementi quadrati finiti di 100 m di lato; l'interpolazione è condotta secondo il *kriging*, assumendo un variogramma lineare di *default*;

5) suddivisione dell'intero intervallo di valori di trasmissività ottenuti (espressi come logaritmo decimale del valore di trasmissività) in 5 classi di uguale ampiezza:

- trasmissività molto bassa $T < 6.0 \cdot 10^{-7}$ mq/s
- trasmissività bassa $6.0 \cdot 10^{-7}$ mq/s $< T < 1.3 \cdot 10^{-5}$ mq/s
- trasmissività media $1.3 \cdot 10^{-5}$ mq/s $< T < 2.7 \cdot 10^{-4}$ mq/s
- trasmissività alta $2.7 \cdot 10^{-4}$ mq/s $< T < 6.2 \cdot 10^{-3}$ mq/s
- trasmissività elevata $T > 6.2 \cdot 10^{-3}$ mq/s

6) restituzione grafica, su base topografica CTR in scala 1:5000, della carta della trasmissività discretizzata in 5 classi di valore, ciascuno dei quali rappresentato da un diverso colore di una scala cromatica omogenea; la rappresentazione discretizzata appare utile nella prospettiva di produrre gli elaborati concernenti la vocazione alla trasformazione urbanistica del territorio. Basati, appunto, su 5 classi di merito secondo una griglia di maglia 100x100 m;

7) la restituzione finale non è comunque corrispondente alla uscita "bruta" della procedura di interpolazione; tale corrispondenza sarebbe stata logica se vi fosse stata una copertura omogenea dei punti di controllo ma, in mancanza di tale condizione, la distribuzione delle classi di trasmissività è stata modificata sulla base delle caratteristiche morfologiche, geomorfologiche e geologiche del territorio; ad esempio se su un paleoalveo, in assenza di punti locali di controllo, risultava un valore basso di trasmissività a seguito della procedura di interpolazione, tale risultato veniva modificato sulla base di valori di trasmissività tipici di quel paleoalveo anche se determinati in aree distanti.

IMPORTANTE: per permettere una comparazione efficace fra la trasmissività dell'acquifero freatico e di quello in pressione, la suddivisione in 5 classi ha tenuto conto del

range di valori assoluto, derivato da ambedue le elaborazioni. In tal modo la valutazione di trasmissività permette di confrontare le diverse caratteristiche dei 2 acquiferi secondo una scala di giudizio univoca.

Elaborato n°1/03.20a – ZONA FERRARA NORD - TRASMISSIVITÀ/PRODUTTIVITÀ DELL'ACQUIFERO FREATICO

Le classi maggiormente rappresentate sono quelle a trasmissività media ed alta, con un valore medio caratteristico di una trasmissività media e con un valore di circa 1×10^{-4} m²/s. La classe a trasmissività elevata è praticamente assente; poco rappresentate sono anche le classi a trasmissività bassa e molto bassa.

Le aree a maggiore trasmissività-produttività sono in relazione alla presenza dei 2 paleo-alvei principali (Po di Ferrara-Volano, ramo di Cassana da Cavalle) ed anche in relazione a quella sorta di paleo-alveo secondario che, dipartendosi da Mezzana, si estende verso NE, attraversa il petrolchimico ed arriva a Pontelagoscuro. Le aree a trasmissività minore sono invece localizzate prevalentemente nella porzione occidentale dell'area.

Alcune aree compaiono non colorate in carta per assenza di acquifero.

Elaborato n°1/03.20b – ZONA FERRARA NORD - TRASMISSIVITÀ/PRODUTTIVITÀ DEL PRIMO ACQUIFERO IN PRESSIONE

Appare evidente il contrasto con l'acquifero freatico; qui di fatto sono solamente rappresentate le classi a trasmissività elevata ed alta, con quest'ultima largamente dominante sulla prima. Il valore medio di trasmissività si situa attorno a 1×10^{-3} m²/s, quindi 1 ordine di grandezza superiore a quello del freatico.

La trasmissività elevata si manifesta lungo una fascia che da Pontelagoscuro vecchio si estende verso Barco nel senso dei meridiani, oltre che nella parte sud-occidentale e nord-occidentale dell'area. Il fattore chiave nel determinare la trasmissività appare lo spessore dell'acquifero. La prima falda in pressione appare, pertanto, come un interessante serbatoio di acqua sotterranea per attingimenti, ovviamente laddove non sia interessato da episodi di contaminazione.

3.3 - PARAMETRIZZAZIONE IDRODINAMICA DELL'ACQUIFERO IN PRESSIONE

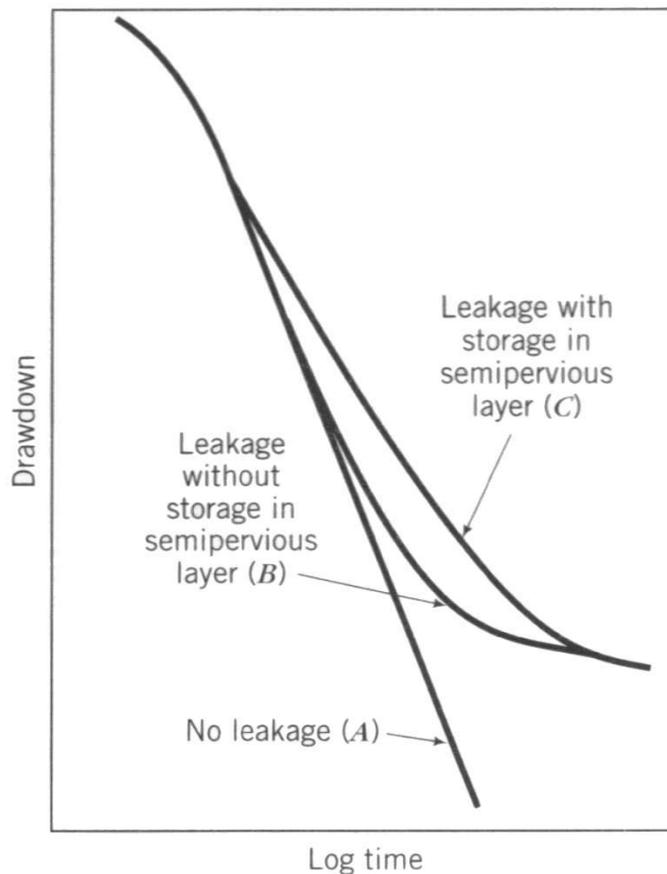
Si è scelto di effettuare una prova di pompaggio di lunga durata sia per verificare sperimentalmente il valore di trasmissività e conducibilità idraulica dell'acquifero in pressione, per confermarne il grado di sconfinamento e per accertare l'eventuale drenanza delle argille dello strato confinante e, di conseguenza, il grado di connessione idraulica tra i due acquiferi, parametri essenziali per la modellizzazione dell'area di studio.

La prova di pompaggio a portata costante, del tipo pozzo-piezometro (o su stazione di prova), consiste nel pompare dal pozzo in prova una portata predeterminata e costante di acqua, misurando gli abbassamenti in un piezometro di controllo posto ad una distanza nota. Il piezometro di controllo deve essere posto ad una distanza tale da consentire il rilevamento degli abbassamenti significativi del carico idraulico entro l'acquifero e dove filtrare il medesimo livello acquifero sottoposto a pompaggio. L'obiettivo della prova è la determinazione dei parametri idrogeologici dell'acquifero e del livello confinante.

Alla base delle prove di pompaggio sta la teoria sperimentale che mette in relazione gli abbassamenti (*drawdown*) nel piezometro di osservazione e il logaritmo del tempo.

Partendo dal modello geologico si arriva alla interpretazione della curva caratteristica *drawdown-log time*; possiamo ottenere diverse risposte:

- Acquifero confinato: si ha un livello confinante continuo e perfettamente impermeabile, questo contiene un fluido incompressibile in una matrice incompressibile. Orbene, tutta l'acqua che estraiamo dal pozzo proviene dall'immagazzinamento dell'acquifero e la risposta è l'abbassamento esponenziale su scala logaritmica (curva A in figura). Questa è la perfetta analogia tra flusso dell'acqua e flusso del calore, secondo il metodo del non-equilibrio di Theis (Domenico & Schwartz, 1998).
- Se il confinante ha bassa permeabilità ma contiene un fluido incompressibile in una matrice incompressibile, è possibile che attraverso questo livello passi acqua, perché c'è filtraggio dall'acquifero libero sovrastante. In risposta a questo afflusso, la curva flette come in figura (curva B).
- In caso si abbia anche immagazzinamento nel confinante ed il confinante sia compressibile, all'abbassamento del carico piezometrico nell'acquifero il confinante pure si depressurizza ed espelle fluido che drena verso il basso. L'andamento è quello della curva C.



Bisogna tuttavia tenere ben presenti 2 possibilità, nell'esecuzione di una prova di pompaggio.

La prima è che il tempo di esecuzione della prova può non essere sufficiente a mostrare la eventuale drenanza, per questo si consigliano generalmente prove di pompaggio non inferiori alle 72 ore; la comparsa del fenomeno è infatti funzione della portata di emungimento e della permeabilità del confinante.

La seconda è che qualora ci si trovi in prossimità di un canale, un fiume, un lago o qualsiasi superficie a potenziale imposto che sia in connessione idraulica con l'acquifero, dal

punto di vista grafico l'estensione del cono di pompaggio a questo elemento è molto simile a quella provocata dalla drenanza. In tal caso il grafico abbassamento-logaritmo del tempo, diviene praticamente orizzontale.

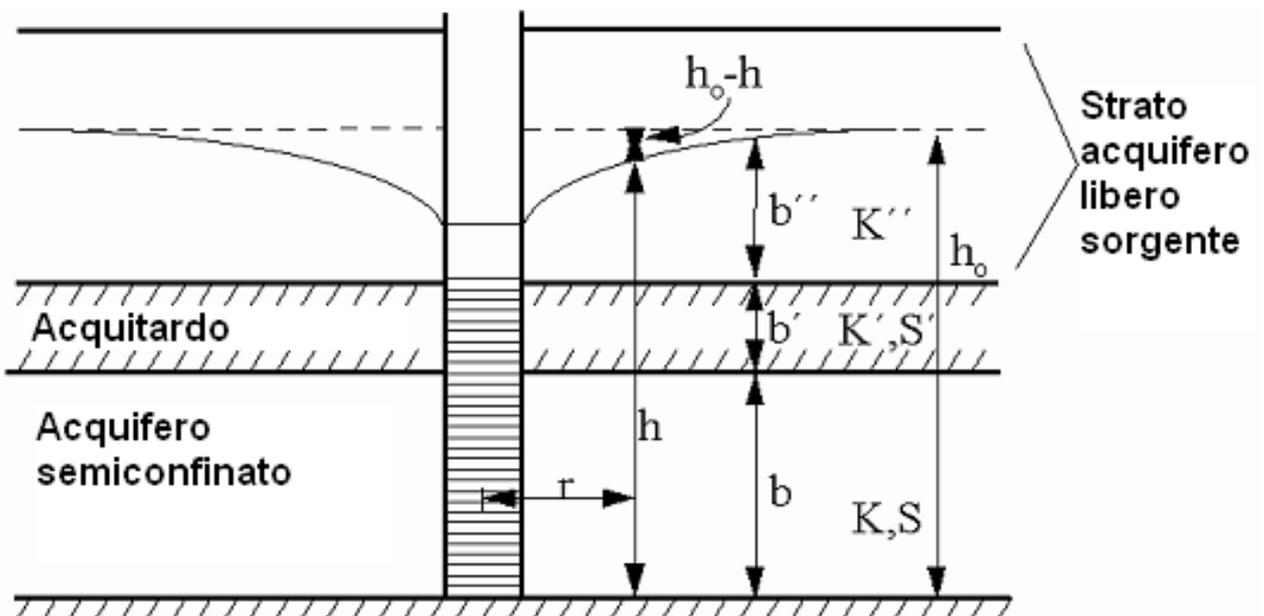
L'identificazione sperimentale, e quindi oggettiva in quanto riproducibile, del modello fisico, a cui corrisponde un conseguente modello analitico, è il fondamento dell'interpretazione di una prova di pompaggio; in definitiva far corrispondere la reale risposta dei dati con quella teorica del modello. Nella maggior parte delle procedure convenzionali, questa corrispondenza viene realizzata con una procedura di adattamento alla curva di tipo grafico tramite abachi; nel nostro caso questo adattamento viene fatto mediante un apposito software, AquiferTest (*Waterloo Hydrogeologic*).

Considerando che comunque allo stato naturale non esiste un confinante perfettamente impermeabile, a maggior ragione in un'area dalle complesse variazioni di spessori e composizione dei corpi sedimentari, si è fatto riferimento al modello di Hantush-Jacob (1955), relativo appunto ad un acquifero nel quale si verifica drenanza attraverso lo strato a bassa permeabilità (caso B precedentemente riportato). Secondo tale modello abbiamo che:

$$T = \frac{Q}{4\pi(h_0 - h)} W(u, r/B)$$

$$S = \frac{4Tut}{r^2}$$

Dove trasmissività e coefficiente di immagazzinamento sono espressi in funzione dei parametri identificabili in figura. $W(u, r/B)$ è una funzione caratteristica del pozzo, t è il tempo di pompaggio e Q è la portata emunta (Freeze *et alii*, 1979).



Parametri che compaiono nella equazione di Hantush-Jacob

- r = distanza pozzo-piezometro
- $h_0 - h$ = abbassamento nel piezometro
- b = spessore acquifero confinato
- b' = spessore livello a bassa permeabilità
- K = Conducibilità idraulica dell'acquifero
- K' = Conducibilità idraulica dell'aquitardo

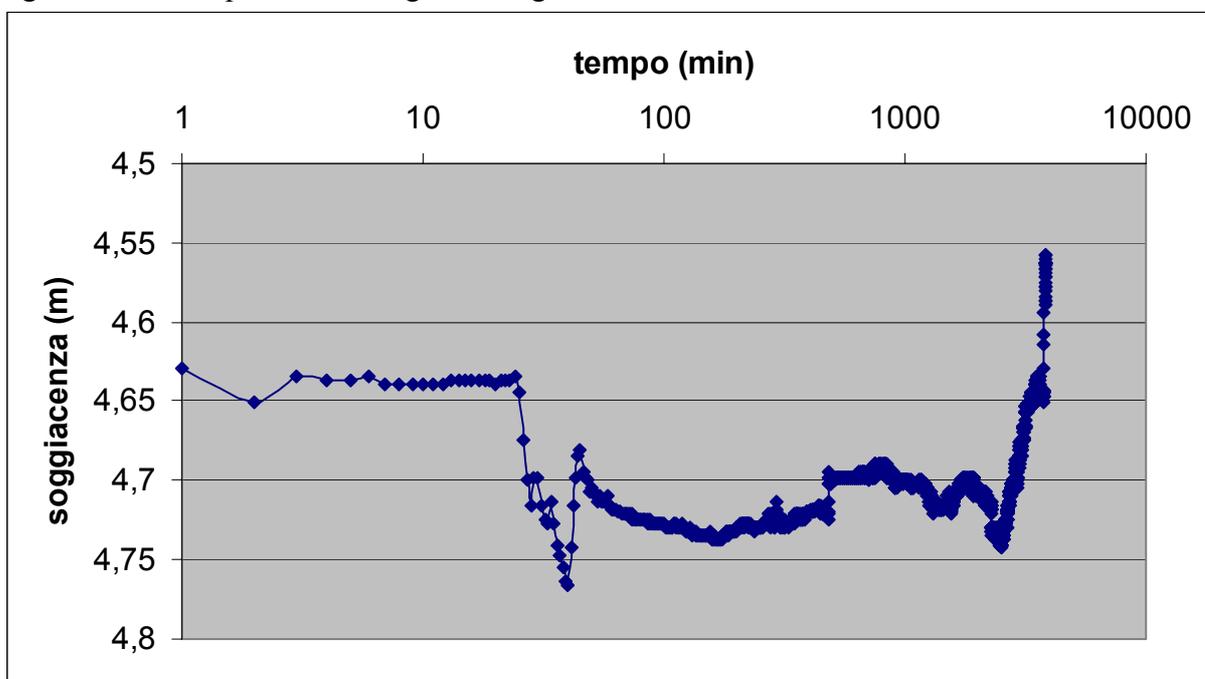
S = Coefficiente di immagazzinamento dell'acquifero
S' = Coefficiente di immagazzinamento dell'acquitardo

Per la realizzazione della prova abbiamo dovuto individuare il luogo dove era possibile avere un pozzo nel quale pompare per un lungo periodo di tempo acqua a portata costante e con la disponibilità di un piezometro vicino e con una situazione geologica sicura di confinamento dell'acquifero.

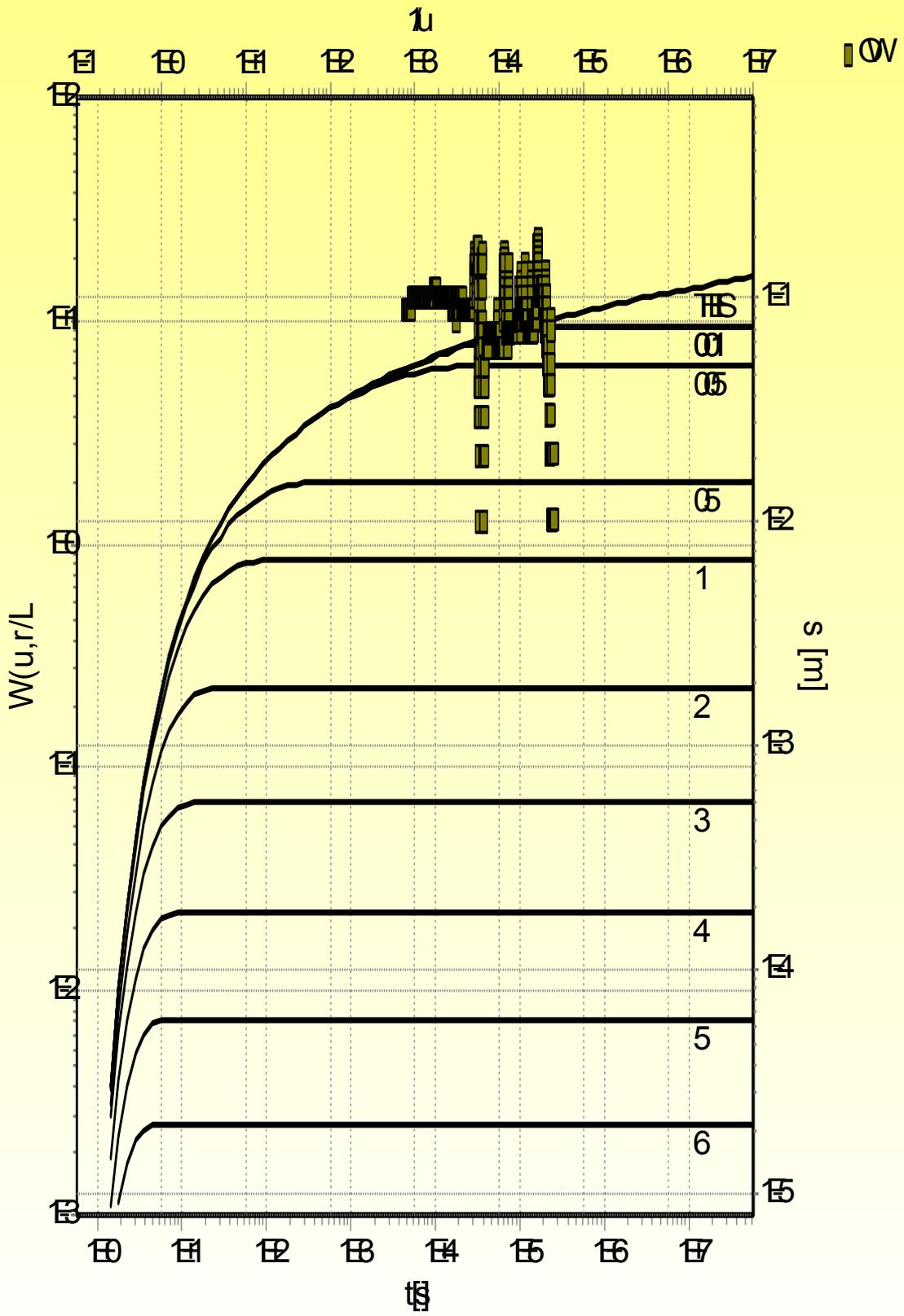
L'unico punto che risponde ai requisiti richiesti è il campo sportivo di Pontelagoscuro, qui infatti si ha un pozzo del quale sono note stratigrafia e caratteristiche costruttive, realizzato per l'irrigazione del prato del campo da gioco; è di proprietà del comune. A 14 metri da questo, l'ARPA di Ferrara, nell'autunno 2002, ha realizzato un piezometro di 125 mm di diametro, in direzione Sud, che riproduce profondità e filtraggio del pozzo irriguo.

La prova si è svolta nei giorni dal 10 al 13 Giugno 2003; si è potuto effettuare un pompaggio a portata costante di 4 L/s utilizzando la pompa elettrica sommersa in dotazione per una durata complessiva di 72 ore. Nel piezometro di controllo si sono misurati gli abbassamenti in continuo, con frequenza di una misura ogni minuto, mediante un sensore di livello WL300 della *Global Water*.

Al termine della prova lo strumento ha restituito i dati di abbassamento in funzione del logaritmo del tempo secondo il grafico seguente:



fallstrahl



Nella figura della pagina precedente è riportata la sovrapposizione fra i dati sperimentali e l'abaco di Hantush & Jacob.

I parametri idrodinamici ottenuti, considerando un valore di r/L pari a 0.01, sono:

$$\begin{array}{ll} T = 3.99 * 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s} & S = 4.68 * 10^{-4} \\ C = 4.91 * 10^8 \text{ s} & K = 1.33 * 10^{-4} \text{ m/s} \end{array}$$

Considerando che:

$$C = b' / K'$$

noto C si ricava il valore di K' che risulta pari a $1.6 * 10^{-8}$ m/s per uno spessore di acquitrando di 8 m; tale è pertanto il valore determinato di conducibilità idraulica verticale dell'acquitrando.

Il risultato ottenuto mostra valori del tutto compatibili con quelli ottenuti da analoghe prove effettuate durante la caratterizzazione dei siti contaminati, in particolare, con riferimento ai dati derivanti da prove di pompaggio in Solvay, si leggono valori di conducibilità idraulica compresi tra 10^{-3} e 10^{-4} con un valore medio assunto di $6 * 10^{-4}$ m/s e valori di trasmissività compresi tra $1.26 * 10^{-4}$ e $1.67 * 10^{-2}$ m²/sec.

Una prova analoga eseguita per conto di Basell all'interno di tale stabilimento, ha fornito un valore di conducibilità idraulica, riferita alle stesse sabbie sede del primo acquifero in pressione, di $1.1 * 10^{-5}$ m/s.

E' da notare il fatto che durante l'esecuzione della prova, si è verificata una risalita del livello statico sia nel piezometro che nel pozzo; infatti tale livello, misurato ad inizio prova sia con il freatometro che con il trasduttore di pressione, è risultato incrementato a fine prova di circa 10 centimetri. Tale variazione è ben visibile nel grafico degli abbassamenti in funzione del tempo, in quanto si ha una risalita molto veloce con traslazione della curva verso l'alto. Considerata la rapidità di tale variazione, unitamente alla mancanza di una sensibile variazione delle condizioni idrologiche, l'unica giustificazione plausibile di tale fenomeno è l'interruzione di un pompaggio a poca distanza dal punto di prova, probabilmente dovuta allo spegnimento di uno o più pozzi situati all'interno dello zuccherificio SFIR situato a 400 metri dal campo sportivo di Pontelagoscuro.

Si noti come il valore di trasmissività ottenuto sia in linea con quanto assegnato all'area indagata dalla carta della trasmissività, laddove il campo sportivo si trova al passaggio fra la classe a trasmissività elevata e trasmissività alta, con un valore di circa $6 * 10^{-3}$ m²/s. Pertanto viene sperimentalmente confermato il modello concettuale teorico alla base della ricostruzione della distribuzione di trasmissività e di produttività idraulica.

ELABORATI DERIVATI DI SUPPORTO TECNICO

4 - IL FUTURO – VALUTAZIONE IDROGEOLOGICAMENTE BASATA DELLA VOCAZIONE DEL TERRITORIO ALLA TRASFORMAZIONE URBANISTICA

Il presente capitolo tratta degli aspetti previsionali dello studio idrogeologico effettuato. In sostanza viene valutata, in relazione ad alcune specifiche modalità di interazione uomo-sistema sottosuolo a potenziale impatto negativo, la vocazione alla trasformazione urbanistica del territorio.

Sono state considerate 4 modalità di interazione uomo-sistema sottosuolo che possono rivestire una valenza idrogeologica nell'area in esame. Esse sono:

1) INQUINAMENTO DELL'ACQUA SOTTERRANEA: uno sviluppo urbanistico comporta un aumento del rischio del rilascio di sostanze inquinanti alla superficie e tale rilascio può indurre fenomeni di percolazione verso la falda con possibili casi di contaminazione dell'acquifero. La valutazione della dinamica di migrazione degli inquinanti, nella gestione delle emergenze idrogeologiche, viene ottenuta tramite applicazione dell'analisi di rischio. Nel caso in esame, invece, in un'ottica di previsione e prevenzione del rischio di inquinamento, devono essere prodotti degli elaborati che mettano in evidenza, sul territorio, sia la distribuzione attuale dei cosiddetti CDP (Centri di Pericolo di Inquinamento) sia l'attitudine dell'acquifero medesimo ad essere contaminato per infiltrazione dalla superficie, attitudine espressa dalla sua vulnerabilità intrinseca all'inquinamento. Pertanto la CARTA DELL'INDICE DI PERICOLO DI INQUINAMENTO e la CARTA DELLA VULNERABILITA' INTRINSECA DELL'ACQUIFERO ALL'INQUINAMENTO sono 2 tematismi di base per valutare la potenzialità delle interazioni fra uomo e falda da un punto di vista qualitativo. Laddove la vulnerabilità è elevata ed è elevato pure l'indice di pericolo, sarà elevata la probabilità di avere una contaminazione della falda e quindi il rischio di inquinamento dell'acquifero.

2) SFRUTTAMENTO DELL'ACQUA SOTTERRANEA: lo sviluppo urbanistico può comportare lo sfruttamento dell'acqua sotterranea e quindi necessita dell'esigenza di mappare le zone dove la falda presenta una produttività idrogeologica maggiore e quindi è maggiormente atta allo sfruttamento. Allo stesso tempo una falda ad elevata produttività è anche una falda di elevato valore idrogeologico, quindi una risorsa da salvaguardare e da proteggere. Il tematismo che individua allo stesso tempo l'attitudine allo sfruttamento ed il valore idrogeologico è la TRASMISSIVITA' IDRAULICA DELL'ACQUIFERO.

Un altro parametro importante da considerare sarebbe la qualità dell'acqua di falda, come ulteriore componente del valore. Tale tematismo non viene però qui preso in considerazione per la mancanza di uno studio organico sulla qualità di base della falda, studio che esula dagli scopi della presente ricerca.

3) DIMINUZIONE DEL POTERE DI RIPASCIMENTO DELL'ACQUIFERO: un intervento urbanistico comporta spesso l'impermeabilizzazione del territorio con conseguente riduzione del potere di ripascimento per alimentazione zenitale dell'acquifero. Le zone a maggiore permeabilità della litologia affiorante saranno quelle più sensibili a tale modifica territoriale e tali aree sono identificabili tramite la CARTA DELL'INFILTRABILITA'.

In relazione al tipo considerato di interazione uomo-sistema idrogeologico sono stati prodotti degli elaborati che rappresentano dei tematismi in relazione con l'attitudine del sistema idrogeologico, e quindi con la sua sensibilità, a subire le interferenze negative specifiche. Ogni tematismo discretizzato è stato classificato secondo un *ranking* relativo in 5 classi, ciascuna definita da un giudizio di merito secondo la seguente scala: ELEVATO-ALTO-MEDIO-BASSO-MOLTO BASSO. La discretizzazione spaziale ed i giudizi sono omogenei su tutti gli ambiti su cui viene condotta la valutazione (quindi non solo su quello idrogeologico), per cui sarà diretto ed immediato il confronto sulla stessa area fra tematismi diversi con la conseguente possibilità di produrre valutazioni specifiche relativamente alle modifiche territoriali in progetto.

N.B.: il parametro “sensibilità all’allagamento indotto dalla soggiacenza minima della falda freatica” non è stato considerato per la zona di Ferrara Nord, essendo le condizioni altimetriche e la permeabilità superficiale del terreno diverse dalla zona di via Bologna-Cona.

4.1 RISCHIO DI INQUINAMENTO DELL’ACQUIFERO

A parità di valore della risorsa, il rischio di inquinamento è dato, in prima approssimazione, dal confronto fra l’Indice di Pericolo di inquinamento e la Vulnerabilità dell’Acquifero all’inquinamento.

L’Indice di Pericolo di inquinamento è stato valutato per tutto il territorio comunale, laddove la Vulnerabilità è stata determinata solamente in relazione ai 2 acquiferi considerati nello studio.

La valutazione di vulnerabilità è fisicamente basata, essendo espressa dal tempo di arrivo al tetto dell’acquifero e quindi essendo legata ai parametri idrodinamici ed allo spessore della copertura protettiva che sovrasta l’acquifero. Le carte della vulnerabilità proposte rappresentano un esempio di metodologia di valutazione di tipo analitico, che riconosce l’importanza prioritaria del tempo di arrivo nel controllare il grado di vulnerabilità dell’acquifero. In tal modo si è voluto rappresentare quantitativamente la dinamica dei processi di potenziale migrazione della contaminazione.

Elaborato n° 1/03.07 – COMUNE DI FERRARA – CENTRI DI PERICOLO DI INQUINAMENTO DEGLI ACQUIFERI

L’elaborato in questione è in comune con quello analogo realizzato per la zona di via Bologna-Cona, di cui mantiene la numerazione.

Se la carta della vulnerabilità rappresenta una misura del grado di protezione naturale di un sistema acquifero nei confronti dell’inquinamento, il pericolo quantifica la magnitudo degli eventi potenzialmente inquinanti, quindi è in relazione alla localizzazione di tutte le attività o infrastrutture (denominate CDP, centri di pericolo) in grado di ingenerare contaminazione delle acque sotterranee.

Usiamo il termine pericolo e non pericolosità in quanto quest’ultima attiene anche alla probabilità di accadimento di un evento inquinante; tale probabilità è difficilmente prevedibile o comunque parametrizzabile data l’intrinseca aleatorietà spazio-temporale del verificarsi di eventi di contaminazione.

Sono considerati sia i centri di pericolo definiti dal Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche (Civita *et al.*, 1999) sia le aree contaminate (in suolo o falda) e comunque tutte le aree in cui è stata attivata una procedura di bonifica ai sensi del DM 471/99. Sono anche considerate tutte le attività a rischio di incidente rilevante denunciate. Per il censimento di tutte le attività potenzialmente inquinanti si è operato un censimento supportato dai seguenti uffici territoriali: Ufficio Urbanistica ed Ufficio Ambiente del Comune di Ferrara, ARPA Emilia-Romagna (Dipartimento di Ferrara), Vigili del Fuoco di Ferrara.

Per quanto riguarda le aree contaminate sono state definite sia quelle all’interno degli stabilimenti sia la zona inquinata da CVM (e per il suolo anche da metalli pesanti in alcuni spot) in Pontelagoscuro.

Tutti i dati censiti sono stati georiferiti ed organizzati in un GIS (per Arianna: parlare di come è stato fatto il GIS. Ad ogni centro di pericolo è stato assegnato un’indice di pericolo (da 2 a 9) secondo la legenda del pericolo d’inquinamento proposta da Civita *et al.* (1999).

L’elaborato di base, con la ubicazione dei centri di pericolo, è riportato sulla ortofotocarta TerraItaly-It 2000.

4.2 ANALISI TERRITORIALE BASATA SU FOTO AEREE

Ai fini della definizione delle zone considerate “pericolose” è stata anche condotta un’analisi fotointerpretativa comparata relativa alle foto aeree degli anni 1937-1945-1954-1987-1994. La interpretazione successiva ha permesso di evidenziare lo sviluppo del territorio e di mettere in evidenza, particolarmente nell’area nord di Pontelagoscuro, “aree fragili” dove sono avvenute pratiche non controllate come smaltimenti e movimenti terra o che hanno indotto tale pratica in seguito ai bombardamenti avvenuti durante il secondo conflitto mondiale oppure in relazione alla pratica delle attività di macerazione della canapa.

Alcune foto sono state fornite dal Comune di Ferrara settore Ambiente mentre altre sono state fornite dall’ Istituto dei Beni Artistici e Culturali di Bologna (I.B.C.).

Contemporaneamente a tale studio è stata effettuata una ricerca di carattere storico di attività potenzialmente inquinanti e di attività produttrici di precursori del CVM, con consultazione dei bollettini aziendali mensili (bollettini appartenenti alla Camera di Commercio di Ferrara nei quali le aziende sono obbligate a denunciare l’inizio o la cessazione della loro attività), dei notiziari economici e del periodico “La Pianura” prodotto e divulgato sempre dalla Camera di Commercio di Ferrara. Tale studio, supportato dalla disponibilità del personale della “biblioteca” della C.C.I.A.A, è stato condotto consultando più di 360 volumi di bollettini aziendali e più di 50 pubblicazioni de “La Pianura”.

Tutte le immagini, quasi tutte in toni del bianco e nero, sono il risultato di vari voli aerei effettuati nella zona. Esse sono sostanzialmente di buona qualità anche se per alcune è stato praticamente impossibile risalire esattamente all’anno di produzione ma si è dovuto effettuare una interpretazione in tal senso basata sull’immagine stessa.

anno di riferimento	1937	1945	1955	1972	1982-1987?	1994	2000
scala media	1:33000	1:25000	1:35000	1:10000	1:5000	1:10000	1:10000
Ente di riferimento	AIMA	RAF	AIMA	EIRA Firenze	?	AIMA	Compagnia generale riprese aeree di Parma

Caratteristiche delle riprese aereo-fotografiche consultate

Le immagini fotografiche più datate, che risalgono quindi al 1937, sono quelle di dimensioni minori e che presentano una marcata deviazione laterale (deriva o *drift*) dovuta probabilmente all’effetto del vento durante il volo. Su tali immagini è stato quindi necessario un lavoro di composizione preliminare effettuato sovrapponendo i margini di tali fotografie.

Si passa poi ad una immagine fotografica scattata nell'Agosto del 1945 raffigurante solo la zona di Pontelagoscuro e di come appariva dopo la Seconda Guerra Mondiale; e a immagini del 1955 nelle quali sono state obliterate, per motivi strategico-militari, tutta l'area del petrolchimico e la zona delimitata dall'attuale via Padova a Ovest, l'attuale zuccherificio a Est, il Po a Nord e il tracciato della vecchia ferrovia a Sud-Est.

Inoltre sono state consultate: immagini del 1972 le quali non appaiono di buona qualità in quanto frutto di eliocopie ottenute dai lucidi originali; una fotografia aerea del 1987 di cui non si conosce la provenienza; una del 1994 e una dell'anno 2000 (TerraitalyTM – it2000 – ortofoto digitale a colori dell'intero territorio italiano – Compagnia Generale Ripreseeree S.p.a.- Parma).

La fotointerpretazione ha permesso di studiare l'evoluzione antropica ed industriale del territorio Ferrarese mettendo in luce come, nel corso degli anni, le aree adibite ad uso agricolo siano state in parte sostituite da insediamenti civili ed industriali.

Su ciascuna immagine, utilizzando il programma *ArcView Gis 3.2*, sono state evidenziate le aree che hanno cambiato la propria destinazione d'uso.

Nelle fotografie aeree scattate nel 1937 si nota come la concentrazione della base produttiva della città di Ferrara, definita a quei tempi come “capoluogo della provincia più agricola e al contempo la più industriale della Regione” si trovasse a Pontelagoscuro. La ricerca storica ha permesso di definire con esattezza il tipo di attività che si svolgevano nella zona e il loro anno di cessazione. Nel “villaggio”, situato sul “Po Grande”, erano infatti insediate in quegli anni ben otto industrie, la maggior parte erano zuccherifici che fecero di Ferrara l'area produttiva principale dell'industria saccarifera di quegli anni. Tali industrie erano: la Raffineria Ferrarese-Ligure (che divenne poi zuccherificio Eridania nel 1930) il cui edificio esiste ancora di fronte all'ex stazione ferroviaria di Pontelagoscuro; due distillerie, di cui una (la distilleria Padana), di proprietà dell'Eridania, che si trovava vicino allo zuccherificio di medesima proprietà; altri due zuccherifici, di cui il primo corrispondente all'attuale S.F.I.R s.p.a.(Società Fondiaria Industriale Romagnola), che al tempo aveva ovviamente dimensioni minori, e uno di proprietà Gulinelli che, inizialmente, si occupava solo della produzione di melasse ma che successivamente, precisamente nel 1906, inaugurò un reparto per la produzione di etere solforico per l'illuminazione e uno per la produzione di seta artificiale. Lo stabilimento fu completamente distrutto durante la seconda guerra mondiale. Vicino a quest'ultimo, dove oggi c'è il campo sportivo, si trovava una fabbrica di concimi chimici (la Cerere), costituita nel 1984 e che dal 1907 produceva acido solforico e perfosfati e rame metallico che cessò definitivamente la propria attività nel 1919.

Nella golena del Po, per motivi di collegamento con la “casa madre” di Trieste, si trovava invece la fabbrica di saponi “Chiozza e Turchi” che cominciò la propria attività nel 1812 e che, dopo un incendio che la distrusse completamente nel 1882, si riprese completamente. L'azienda entrò però in crisi dopo la prima guerra mondiale chiudendo poco dopo nel 1928.

In quella che oggi è via Vallelunga una probabile ciminiera, individuabile dalle foto, fa riconoscere quella che al tempo era la fornace del Boschino nella quale avveniva la produzione di laterizi. L'azienda fu attiva sino al 1958.

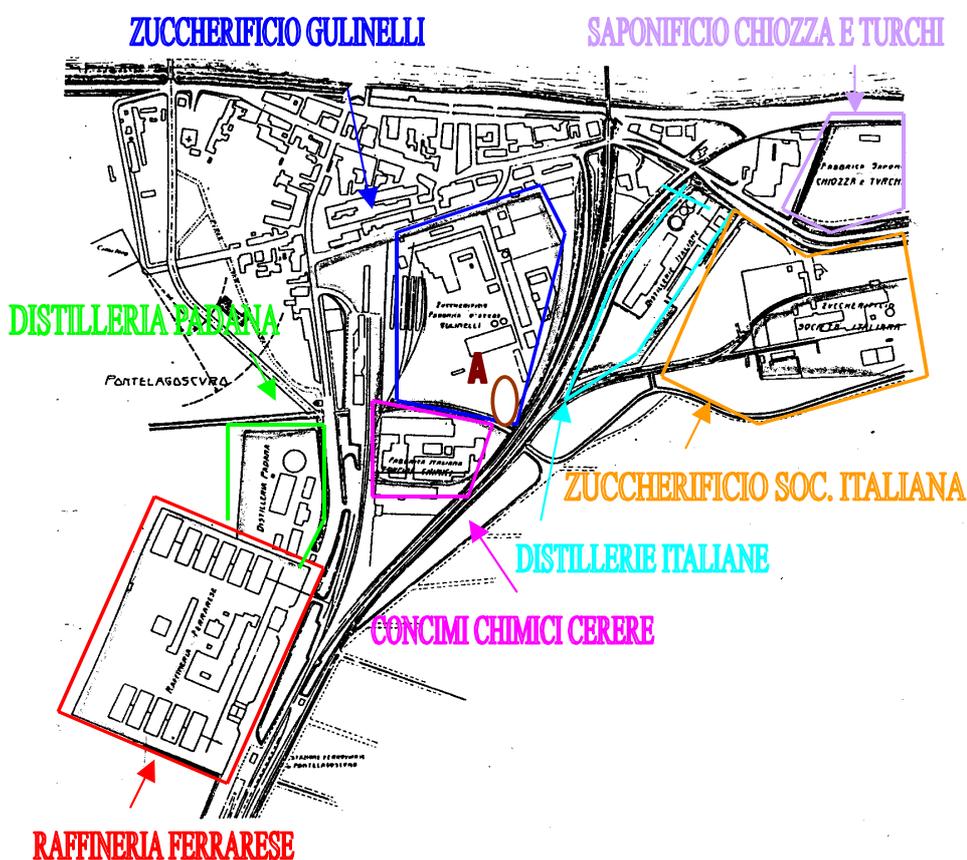
Per il fine del nostro lavoro è interessante sottolineare come dalle immagini sia possibile riscontrare la presenza di ampie aree subcircolari di colore scuro, che individuano i numerosi maceri presenti nell'area. Da una ricerca bibliografica e da testimonianze dirette di anziani residenti nella zona, si è scoperto come al tempo tali depressioni naturali venissero utilizzate dalle aziende, e non solo, come zone di smaltimento rifiuti. Un'altra area simile è individuabile tra lo zuccherificio Gulinelli e la fabbrica di concimi chimici; tale fossa, che nella figura appare segnalata con la lettera A, appare riempita da materiale liquido e sembra essere in comunicazione con tubi di scarico provenienti dallo zuccherificio e probabilmente anche dalla fabbrica di concimi sottostante.

In questi anni era già presente sul territorio, sulla sponda Ovest del Canale Boicelli vicino alla golena del fiume Po, la rete di prelievo, trattamento e distribuzione acque potabili dell'A.Co.Se.A..

Nel 1937 i centri di Pontelagoscuro Nuova e Barco non esistevano ancora.

L'unica immagine dell'immediato dopoguerra in nostro possesso, raffigurante solamente l'abitato di Pontelagoscuro, mostra un villaggio completamente distrutto dai bombardamenti; grosse cavità che sono state lasciate dagli ordigni bellici sono chiaramente visibili su tutta l'area abitata e su tutto il centro produttivo: praticamente tutti gli edifici civili e industriali sono stati rasi al suolo. Tale area rappresenta pertanto una zona particolarmente vulnerabile. Da una ricostruzione storica sembra infatti che fosse uso comune utilizzare anche le cavità lasciate dalle bombe come aree in cui praticare lo smaltimento dei rifiuti.

Nel 1955 erano già fortemente insediati nella zona sia il "polo chimico" nel quale erano presenti la *Moplen* e la *Moplen EP* produttrici di catalizzatori per la polimerizzazione delle olefine, polipropilene e copolimeri, etilene e propilene; la *Moplen RO* produttrice di polietilene ad alta densità; la *Fertem* produttrice di Polietilene a bassa densità; la *Dutral* realizzatrice di elastomeri sintetici; la *Ferrosa* fabbricante fibre poliolefiniche; la *Dutral IP* e la *Moplen SP* produttrici di leghe polimeriche e materiali composti ed infine la *Utral* realizzatrice di poliesteri termoplastici e nuovi polimeri, resine ABS, acrilonitrile, estirolo. Nella ripresa aerea, come precedentemente detto, il "polo" è stato obliterato. La Solvay pure iniziò la propria attività a cavallo degli anni '40.



**Riduzione da planimetria a scala 1:2000 dell'abitato.
Sono evidenziati gli insediamenti industriali
dei primi decenni del Novecento.**

In quegli anni si stavano formando i centri insediativi di Pontelagoscuro Nuova e Barco. Si vede inoltre come il tracciato della ferrovia, che fino agli anni trenta costeggiava il Canale Boicelli e che deviava nei pressi di Pontelagoscuro Vecchia, assuma un andamento rettilineo più distante dai villaggi.

Negli anni seguenti si nota il continuo incremento delle attività produttive (da citare la Compagnia Italiana *Nest Pack* di via Marconi specializzata in lavorazione delle materie plastiche, la *So.Ge* specializzata nel trasporto e commercio alcool, la *Liquigas*, lavorazione e smercio di ogni

prodotto derivate dal petrolio) e negli anni '60, con la fine dei lavori di costruzione dell'autostrada, la creazione di aziende specializzate nel trasporto merci per conto di terzi con sede a Pontelagoscuro. Tra le ditte che offrono questo tipo di servizio vale la pena citare l'attuale *Marconi Doks s.r.l.* che si occupa di stoccaggio e trasporto di materiali speciali.

Nelle immagini del 1972 non si rinvengono notevoli cambiamenti rispetto a quelle degli anni precedenti, i centri abitati si sono ampliati, probabilmente per la sempre maggiore domanda di impiego; in tale immagine è ancora ben visibile il perimetro della fabbrica di concimi chimici.

Cambiamenti più consistenti sono visibili nell'immagine del 1987 nella quale si nota lo sviluppo produttivo anche della zona situata ad Est del Canale Boicelli a Nord Ovest dell'ex zuccherificio Eridania (oggi adibito a piccolo centro commerciale); è inoltre riconoscibile la discarica comunale di inerti, situata nei pressi di via Canapa, al tempo probabilmente aperta da pochi anni (dall'immagine appare infatti una superficie molto riflettente indicativa della presenza di materiale terroso di ricoprimento dei rifiuti). Attualmente la discarica è inattiva, ciò è confermato dalle foto appartenenti ad anni successivi che mostrano come nella zona sia rimasta un'area dove nella quale l'erba ha ormai attecchito. E' inoltre visibile un'altra zona, situata poco a Sud dello zuccherificio S.F.I.R., che per le caratteristiche simili a quella precedentemente descritta fa pensare ad un'altra area di discarica. Tale ipotesi non trova comunque conferma.

Dove negli anni trenta c'era la fabbrica di concimi chimici, negli anni settanta la stessa area viene adibita a campo da calcio.

Nel 1987 erano già presenti sul territorio comunale la cartiera di via Marconi e l'allora *SO.GE. s.r.l.* Emiliana macinazione, in via Ricostruzione, la Agrimont s.p.a. appartenente al gruppo Montedison con produzione di prodotti zootecnici e veterinari che con 450.000 tonnellate all'anno di ammoniaca e 500.000 di urea rappresentava il complesso più grande d'Europa, la *Outral* con produzione di elastomeri, tecnopolimeri (etilene e propilene) e catalizzatori, la *Himont Italia s.p.a.* specializzata in produzione di propilene, poliolefine e catalizzatori ad alta resa.

Negli stessi anni "nasce" il centro commerciale di Barco denominato *centro Diamante*, il depuratore e l'inceneritore di via Conchetta, le scuole Magistrali di via Canapa e la motorizzazione civile.

Negli anni ottanta viene creato l'orto gestito dagli anziani.

Nel 1994 si nota un notevole ampliamento della parte industriale e commerciale, soprattutto nella parte più settentrionale dell'area esaminata, con parallelo ampliamento degli insediamenti abitativi. In questo periodo la discarica di via Canapa è ancora attiva.

E' ben visibile anche lo smiamento avvenuto nella nuova area delle villette in via Migliari a Pontelagoscuro Vecchia, la riduzione dell'area di appartenenza *Solvay* e l'ampliamento dell'area del Petrolchimico con un settore di appartenenza dell'attuale *Ambiente s.p.a.*

Con un confronto diretto con il volo del 2000 si nota facilmente come l'area oggetto di studio, dagli anni '90 ad oggi, non abbia subito significativi cambiamenti.

Dal resoconto sintetico dell'analisi territoriale effettuata risulta un'area particolarmente dinamica come attività produttiva ed al contempo degradata e fragile da un punto di vista urbanistico, con coesistenza di attività produttive, aree di smaltimento e discariche.

Elaborato n°1/03.08 – COMUNE DI FERRARA – INDICE DI PERICOLO DI INQUINAMENTO DEGLI ACQUIFERI

L'elaborato in questione è in comune con quello analogo realizzato per la zona di via Bologna-Cona, di cui mantiene la numerazione.

Dall'elaborato precedente il tematismo "indice di pericolo" è stato discretizzato secondo un reticolo di elementi quadrati finiti di 100 m di lato. Per ogni cella l'indice di pericolo territoriale è dato dal prodotto degli indici di pericolo di tutti i CDP presenti entro la cella.

Dei valori così ottenuti, cella per cella, è stato calcolato il logaritmo in base 10. L'intervallo totale di valori è stato suddiviso in 5 classi di intervallo equidimensionali, ciascuna caratterizzata da un diverso giudizio di merito. Tale elaborazione discretizzata è utile sia perché quantifica oggettivamente l'indice di pericolo sia perché permette, tramite confronto analitico con la vulnerabilità ed il valore della risorsa, di ottenere il rischio di inquinamento dell'acquifero

4.3 VULNERABILITÀ DELL'ACQUIFERO ALL'INQUINAMENTO

La procedura di valutazione, basata come si è detto sul tempo di arrivo, è stata condotta secondo i passi seguenti:

1) Per ogni punto di controllo litostratigrafico disponibile è stato identificato il tetto dell'acquifero, corrispondente al tetto del primo livello relativamente permeabile saturo incontrato dal piano-campagna o dalla tavola d'acqua se posta inferiormente al tetto del primo livello permeabile saturo incontrato dal piano campagna (nel caso dell'acquifero freatico). In tale secondo caso è stato considerato il livello di morbida della falda determinato nel Dicembre 2002.

2) Calcolo del tempo d'arrivo dal piano campagna al tetto dell'acquifero. Il tempo d'arrivo è stato calcolato con la formula seguente:

$$t = \sum_i [(H_i / K_{Si}) * n_{ei}]$$

dove H è lo spessore di ogni singolo strato, di un totale di n strati, compreso fra piano-campagna e tetto dell'acquifero, K_S è la sua conducibilità idraulica satura espressa in m/s, n_e è la sua porosità efficace. La sommatoria è effettuata per tutti gli n strati (con i compreso fra 1 ed n) che compongono la copertura protettiva dell'acquifero. Il tempo d'arrivo così calcolato è una espressione conservativa della vulnerabilità, dato che è il tempo che impiegherebbe un inquinante conservativo, non soggetto a degradazione e non interagente con la matrice solida dell'acquifero, per compiere il percorso compreso fra il piano campagna ed il tetto dell'acquifero, con gradiente idraulico unitario ed in condizioni di completa saturazione in acqua e quindi con conducibilità idraulica massima. Pur non essendo conforme alla realtà fisica della zona non satura, sposa le caratteristiche di conservatività insite in una procedura di analisi di rischio e soprattutto permette di rappresentare in maniera oggettiva, integrando assieme spessore e permeabilità della copertura protettiva dell'acquifero, il grado di vulnerabilità.

I valori di conducibilità idraulica satura e porosità efficace sono stati assegnati alle diverse litologie con la stessa procedura vista per la valutazione della trasmissività (Civita *et al.*, 1999). Il tempo complessivo viene espresso in secondi; del valore ottenuto viene determinato il logaritmo decimale. I valori del tempo d'arrivo per ogni punto di controllo stratigrafico sono stati inseriti nel *data-base* dei dati litostratigrafici .

3) interpolazione, assistita da computer, dei valori puntuali del logaritmo decimale del tempo d'arrivo secondo una griglia (*grid*) di discretizzazione formata da elementi quadrati finiti di 100 m di lato; l'interpolazione è condotta secondo il *kriging*, assumendo un variogramma lineare di *default*;

4) suddivisione dell'intero intervallo di valori di tempo d'arrivo ottenuti (espressi come logaritmo decimale del valore di tempo d'arrivo) in 5 classi di uguale ampiezza:

- Vulnerabilità/Infiltrabilità Elevata $t < 15$ minuti
- Vulnerabilità/Infiltrabilità Alta 15 minuti $< t < 10$ ore
- Vulnerabilità/Infiltrabilità Media 10 ore $< t < 16$ giorni
- Vulnerabilità/Infiltrabilità Bassa 16 giorni $< t < 21$ mesi
- Vulnerabilità/Infiltrabilità Molto Bassa $t > 21$ mesi oppure assenza di acquifero.

5) restituzione grafica, su base topografica CTR in scala 1:5000, della carta del tempo d'arrivo discretizzata in 5 classi di valore, ciascuno dei quali rappresentato da un diverso colore di una scala cromatica omogenea;

6) la restituzione finale non è comunque corrispondente alla uscita "bruta" della procedura di interpolazione; tale corrispondenza sarebbe stata logica se vi fosse stata una copertura omogenea dei punti di controllo ma, in mancanza di tale condizione, la distribuzione delle classi di tempo d'arrivo è stata modificata sulla base delle caratteristiche morfologiche, geomorfologiche e geologiche del territorio; ad esempio se su un paleoalveo, in assenza di punti locali di controllo, risultava un valore elevato di tempo d'arrivo a seguito della procedura di interpolazione, tale risultato veniva modificato sulla base di valori di tempo d'arrivo tipici di quel paleoalveo anche se determinati in aree distanti. secondo una discretizzazione spaziale quadrata di lato 100 m.

IMPORTANTE: la valutazione di vulnerabilità, con la produzione del relativo elaborato, è stata condotta solo relativamente all'acquifero freatico; il primo acquifero in pressione, infatti, risulterebbe caratterizzato da una vulnerabilità molto bassa su tutto il territorio, in relazione allo spessore ed alla permeabilità dell'acquifero di sconfinamento. Solo nella golena del Po, in corrispondenza del campo-pozzi di Acosea, in alcuni punti l'acquifero è libero e vulnerabile.

Elaborato n°1/03.21 – ZONA NORD FERRARA – VULNERABILITÀ ALL'INQUINAMENTO DELL'ACQUIFERO FREATICO

Il grado di vulnerabilità/infiltrabilità dell'acquifero freatico è in relazione alla distribuzione dei litosomi sabbiosi o sabbio-limosi sub-superficiali, per cui abbiamo una vulnerabilità da elevata a media, con tempi d'arrivo non superiori a 16 giorni, lungo il paleo alveo del Po di Ferrara a Sud, lungo il paleo-alveo da Ravalle ad Ovest e in una fascia estesa compresa fra Mizzana e Pontelagoscuro, fascia che abbraccia interamente l'area dello stabilimento multisocietario.

Nella rimanente parte del territorio la vulnerabilità è prevalentemente bassa, arrivando ad un grado molto basso a Nord di Cassana-Porotto, nella parte occidentale, ed a Sud di Possessione Cà Grande nella parte orientale.

Le zone più vulnerabili sono anche quelle dove l'infiltrabilità è maggiore.

Mediamente la falda freatica appare vulnerabile all'inquinamento e lo è particolarmente proprio al di sotto delle aree più antropizzate o industrializzate. La discarica di Cà Leona è localizzata in un'area prevalentemente a vulnerabilità bassa.

4.4 - ATTITUDINE ALLO SFRUTTAMENTO DELL'ACQUA SOTTERRANEA

Vi è totale coincidenza fra tale tematismo e quello inerente alla trasmissività/produzione dell'acquifero, sia freatico che in pressione (Elaborati 10a,10b). Le zone più trasmissive sono quelle dove si possono ottenere maggiori volumi di acqua sotterranea.

Tale valutazione, comunque, è puramente e solamente basata su dati quantitativi; come già spiegato si prescinde da valutazioni legate alla qualità di base dell'acqua di falda e, cosa ancora più importante, si prescinde da considerazioni legate al rischio di subsidenza indotto dai pompaggi.

La valutazione indica solamente le zone dove pozzi perforati in falda superficiale sono maggiormente produttivi.

4.5 - SENSIBILITÀ ALLA DIMINUZIONE DEL POTERE DI RIPASCIMENTO DELL'ACQUIFERO

Vi è totale coincidenza fra tale tematismo e quello inerente al tempo d'arrivo/vulnerabilità intrinseca/infiltrabilità dell'acquifero freatico (Elaborato 11a). Le zone più vulnerabili sono quelle dove maggiormente intensa è la ricarica per infiltrazione zenitale e quindi dove maggiori possono essere gli effetti negativi indotti da progettazioni che comportino impermeabilizzazione.

Il responsabile scientifico della convenzione di ricerca
Dott. Alessandro Gargini

Bibliografia

- Bondesan M., 1990. *L'area deltizia padana: caratteri geografici e geomorfologici*. In "Il Parco del Delta del Po", I sez., Spazio Libri Ed. Ferrara, pp 10-47
- Bondesan M., Dal Cin R., Mantovani M.G., 1974, *Depositi fluviali würmiani in un pozzo terebrato presso Ferrara*, Annali Università di Ferrara, sez IX, Vol. V, n° 8, pp.147-163
- Bondesan M., Minarelli A., Russo P., 1986, *Studio dei movimenti verticali del suolo della provincia di Ferrara*. Estr. da Studi idrogeologici sulla Pianura Padana, n°2. Milano
- Civita M., Gargini A, Pranzini G., 1999 – Metodologia di redazione della carta della vulnerabilità intrinseca e del rischio di inquinamento degli acquiferi del Valdarno Medio. Quaderni di geologia applicata, 1999, Pitagora Editrice Bologna.
- Consorzio B.A.S.I. – Ambiente Aquater-, 2001. *Piano della Caratterizzazione dello stabilimento multisocietario di Ferrara..*
- Domenico P., Schwartz F. (1998), *Physical and chemical Hydrogeology*, second edition. John Wiley & Sons, Inc., New York, USA
- Ecofox, 2000. *Piano della Caratterizzazione del sito industriale di Solvay chimica Italia S.p.A..*
- Golden Software, 1999. *Surfer v.7.0. User's Manual*. Colorado, USA.
- Giari M., Valentini P., 1998, *Il Consorzio di Bonifica I° Circondario Polesine di Ferrara*. Ingegneri Architetti Costruttori, n° 593, Bologna, pp. 559-562.
- Hantush M.S., Jacob C.E., 1955, *Nonsteady radial flow in an infinite leaky aquifer*. Trans. Am. Geophys. Union. V.36, pp 95-100
- Maxey G. B., 1964, *Hydrostratigraphic units*. Journal of Hydrology, 2, pp. 124-129.
- Pieri M., Groppi G., 1981, *Subsurface geological structure of the Po plain, Italy*. "CNR, progetto finalizzato geodinamica", pubbl, 414.
- Provincia di Ferrara (1990). *Studio idrogeologico del sistema multiacquifero confinato della provincia di Ferrara, La rete di controllo dell'acquifero in pressione (Febbraio 1987-Ottobre 1990)*.
- Regione Emilia Romagna, Eni-Agip, (1998), *Riserve idriche sotterranee della Regione Emilia-Romagna*. A cura di G. Di Dio. S.EL.CA. (Firenze)
- Röhrich T., Waterloo Hydrogeologic, 1999, *AquiferTest v.3. User's Manual*. Waterloo, Ontario, Canada
- Spensieri P., 2001, *Studio idrogeologico generale del territorio attraversato dal Po tra Pontelagoscuro e Berra, con particolare riferimento alla vulnerabilità della falda freatica*. Università di Ferrara, Tesi di Laurea.
- Villa F., Castaldi G., Rossi C., 1976, *Le caratteristiche deposizionali dell'area ferrarese e le relative connessioni con l'idrogeologia superficiale e profonda*. Da quad. IRSA, V. 28, n° 11, pp. 309-329