



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 Via Bologna-direttrice per Cona

Relazione n° 1/03.01  
ottobre 2003



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

**SUPPORTO TECNICO GEOLOGICO-IDROGEOLOGICO  
ALLA PROCEDURA DI VALUTAZIONE  
E SOSTENIBILITA' AMBIENTALE  
PER IL NUOVO PIANO REGOLATORE DEL COMUNE DI FERRARA**

**ZONA VIA BOLOGNA - DIRETTRICE PER CONA**

Gruppo di lavoro:

responsabile della ricerca e coordinatore: *Alessandro Gargini*  
responsabile per la parte geologica, geomorfologica  
ed acque superficiali: *Marco Bondesan*

Hanno collaborato:

*Monica Pasini*

*Andrea Messina*

*Leonardo Piccinini*

*Arianna Zanella*

*Emanuele Oddone*

**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 comprendente la zona di via Bologna ad Ovest e la direttrice per Cona ad Est, attualmente oggetto di importanti interventi di pianificazione urbanistica. Tale zona, il cui limite meridionale si può porre convenzionalmente sulla superstrada Ferrara-Mare, verrà da ora in poi denominata "zona via Bologna-Cona".

Lo studio è anche integrato con dati relativi alla fascia di territorio percorso dalla via Imperiale, al confine tra i comuni di Ferrara e Poggio Renatico, che potrebbe essere fatta oggetto di risistemazione al fine di convogliare, dalla periferia di Ferrara fino a Sud di Montalbano, la maggior parte del traffico che oggi percorre la S.S. 64.

I dati sulla geologia, geomorfologia, litologia, geotecnica e rischio idraulico sono tratti in parte dalla documentazione già acquisita dal Servizio Geologico Comunale, in parte dagli studi effettuati per il nuovo PSC, e fanno in genere riferimento ad elaborati cartografici georeferenziati appunto per il PSC.

Lo studio idrogeologico, di supporto alla VALSAT di I livello (Valutazione e Sostenibilità Ambientale e Territoriale), è stato effettuato dal gruppo di ricerca di Idrogeologia costituito presso il Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Ferrara.

Tale 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 costituiscano 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 per lo studio idrogeologico 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.

Ciascun prodotto dello 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 geologico e idrogeologico attuale, frutto della storia di cui al punto precedente; 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 dinamica delle falde idriche soggiacenti al territorio comunale, dinamica rappresentabile tramite l'idrostruttura degli acquiferi e la distribuzione dei carichi piezometrici; 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 dello studio idrogeologico 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). I capitoli che descrivono specificamente i singoli elaborati sono intitolati in corsivo.

Gli step dello studio sulla geomorfologia, litologia, e sul rischio idraulico fanno invece riferimento, come si è detto, alle carte di accompagnamento al PSC, georeferenziate nel sistema informativo comunale, sempre su piattaforma ESRI (*ArcView*).

## **1 - EVOLUZIONE GEOLOGICA E GEOMORFOLOGICA DEL TERRITORIO**

Gli elementi di maggior rilievo, in questo campo, sono costituiti:

- dalla strutturazione geologica generale del territorio, ossia dalla forma e dinamica delle pieghe sepolte anche a grande profondità nella pianura, dato che queste hanno condizionato l'evoluzione successiva e anche oggi influenzano, a livello di aspetti geologico-applicativi, la sismicità e la subsidenza;
- dalla sua evoluzione in età olocenica e storica, che influenza, sempre a livello di aspetti geologico-applicativi, la litologia di superficie, le condizioni geotecniche, l'attuale morfologia del territorio e il suo assetto idrogeologico.

### **1.1 - STRUTTURAZIONE GEOLOGICA GENERALE**

L'area considerata nel presente studio è costituita superficialmente da sedimenti olocenici di piana alluvionale, che a loro volta insistono su una serie di sedimenti incoerenti di età plio-quadernaria di origine marina, lagunare e fluvio-palustre. I primi termini rocciosi, in profondità, sono di età pre-pliocenica. L'area è situata sulla verticale delle "Pieghe ferraresi", ossia delle strutture più avanzate

dell'orogene appenninico sepolto (Pieri & Groppi, 1981; CNR, 1992). Più precisamente la periferia Sud di Ferrara e la direttrice di Cona insistono sul fianco Sud dell'arco settentrionale di tali pieghe, mentre il resto della zona insiste su una depressione tettonica locale che arriva fin quasi al fronte dell'arco meridionale (zona a Sud e a sud-ovest della tangenziale Sud di Ferrara). Questi archi sono costituiti da due fasce di anticlinali, pieghe-faglie e ricoprimenti generalmente vergenti a Nord, con assi allungati in direzione WNW-ESE. Il fianco Sud dell'arco settentrionale, tra Mizzana e Aguscello, è invece caratterizzato da una piega faglia vergente a Sud e nella zona di Cona da una faglia diretta.

L'arco meridionale ha il suo fronte tra Montalbano e S.Egidio, ed è quindi completamente esterno all'area qui denominata via Bologna-Cona.

Pertanto, nella zona qui considerata, il tetto del pre-Pliocene, e quindi delle formazioni rocciose, è costituito da una superficie irregolare inclinata verso SW, con profondità digradanti da meno di 500 m (Foro Boario) a oltre 3000 m (via Imperiale, tratto più prossimo a Poggio Renatico). Sulla verticale di tale arco è situata solo la zona di Montalbano.

Le spinte tangenziali che hanno dato origine a queste strutture dell'orogene appenninico si sono prodotte prevalentemente nel Miocene. Nel Pliocene e nel Quaternario si sono verificati soprattutto movimenti verticali, che in un primo tempo hanno portato all'emersione delle culminazioni e una più accentuata sedimentazione nelle depressioni (tale emersione ha determinato la parziale erosione delle culminazioni, tanto che localmente mancano parti della serie mio-pliocenica); poi, nel Quaternario, ha prevalso la subsidenza, si è giunti al completo seppellimento anche delle culminazioni e infine alla situazione attuale.

Le principali conseguenze di tale situazione geologica sono costituite da due importanti aspetti della geodinamica del territorio, ossia dalla possibilità che si verifichino tachisismi (terremoti) e bradisismi, che consistono soprattutto nei fenomeni di subsidenza tuttora in atto (paragrafi 2.1 e 2.2).

## 1.2 - EVOLUZIONE IN ETÀ OLOCENICA E STORICA

Non è individuabile, nell'area considerata, una netta soluzione di continuità tra i sedimenti pleistocenici e quelli olocenici. Infatti, in questo settore della Pianura Padana, la trasgressione marina "flandriana" (o "versiliana"), che segna l'inizio del periodo Olocenico (o Attuale), si è spinta al massimo fino a Codigoro, ma non più a Ovest. In prossimità di Ferrara non sono del resto stati trovati neppure materiali attribuibili ad ambienti di laguna o di palude salmastra collegabili a tale trasgressione: qui i materiali tardo-pleistocenici e quelli olocenici sono sempre di pianura alluvionale. I primi, tuttavia, si riferiscono ad una sedimentazione di media pianura, e i secondi ad una sedimentazione di bassa pianura, ossia ad una situazione analoga a quella attuale. Tale differenziazione litologica è stata riconosciuta ad esempio in un pozzo situato a NW di Ferrara: in una serie che, dai 36 m alla superficie, mostrava un passaggio continuo da materiali relativamente grossolani (sabbie con ciottolotti) a sedimenti fini, nei sedimenti compresi tra 36 e 30 m sono stati raccolti resti vegetali che, all'esame del 14 C, sono risultati attribuibili al Pleistocene, ad una età compresa tra il Mesowurmiano e il Neowurmiano (Bondesan et al. 1974; Bondesan 2001a). D'altronde, evidenti prove macropaleontologiche di ambienti di steppa-taiga glaciale di media pianura, a profondità di oltre 20 m, sono state recentemente raccolte nella cava di sabbia di Settepolesini (Sala & Gallini 2001). Vari sondaggi attestano che tale corpo sabbioso (spesso contenente sabbie addensate), di età fine-Pleistocene/primo-Olocene, che a Nord della città comincia tra i 18 e i 25 m di profondità, è abbastanza continuo e si spinge anche a Sud di Ferrara, manifestando una certa tendenza ad aumentare di profondità (fino a oltre 30 m). Nella «zona via Bologna-Cona» è infatti generalmente rinvenibile tra i 25 e i 28 m di profondità (-18/-22 m rispetto al l.m.m.).

Per l'Olocene, l'assetto stratigrafico della zona risulta abbastanza complesso.

Nei livelli più profondi strati e lenti di sedimenti sabbiosi testimoniano la presenza di antichi corsi fluviali di cui non è attualmente possibile ricostruire l'andamento planimetrico. Risultano più leggibili, a Sud di Ferrara, gli ultimi 20 metri di sedimenti. A NW dell'area in esame (zona tra

Mizzana e via S. Giacomo), strati di sabbie grigie, tra -12 e -1 m rispetto al l.m.m., attestano la presenza di un corpo subalveo paragonabile a quello del Po attuale.

Tra circa -12 e -8 m, sulla linea via Krasnodar-viale Beethoven-viale Wagner-Aguscello, si individua una fascia di sedimenti sabbiosi interpretabile o come argine naturale Sud di un primitivo Po di Ferrara, o come testimonianza di un paleoalveo ed esso parallelo: all'estremità Ovest di via Krasnodar questi materiali sabbiosi si spingono fino a m -3 (meno di 10 m dal piano campagna). Lenti varie di sedimenti sabbioso-limosi forse collegabili a conoidi di rotta si rinvengono inoltre a varie profondità: sembrano più sicuramente riferibili alla conoide di una rotta molto antica del Po di Ferrara quelli situati tra -2 e 0 m dal l.m.m. nell'area via Trentini-viale Beethoven-viale Bologna. Nei 6 m più superficiali (tra 0 e 6 m dal l.m.m.), l'unico corpo sabbioso rinvenibile si sviluppa lungo il Volano, e appare sicuramente riferibile al Po di Ferrara di età storica e alle sue pertinenze dirette: in particolare potrebbero appartenere a due conoidi di rotte relativamente recenti le lenti di materiali sabbioso-limosi rinvenute, tra -2 e + 3 m, rispettivamente tra il Po di Ferrara e via Krasnodar e tra il Po di Ferrara e via Aeroporto.

Verso il centro della Sammartina i corpi sabbiosi si riducono rapidamente di spessore e dominano decisamente i sedimenti limosi e argillosi di piana interfluviale. Tale situazione è ancora più marcata nella parte più meridionale della Sammartina, ove si hanno quasi esclusivamente materiali argilloso-limosi, talora marcati da livelli torbosi attribuibili alla presenza di antiche paludi. Lenti e strati sabbiosi isolati di modesto spessore potrebbero collegarsi, anche qui, alla presenza di antichi corsi d'acqua secondari, di cui non è possibile ricostruire l'andamento. Sono assai scarsi, per l'area in esame, i dati stratigrafici relativi al Po di Primaro. Nella fascia adiacente la sua sponda Ovest le sabbie più superficiali si rinvengono a oltre -8 m dal l.m.m., ma non paiono attribuibili a tale corso d'acqua. I corpi sabbiosi decisamente riferibili al Primaro sembrano essere infatti solo quelli compresi negli ultimi 6 m di sedimentazione (e quindi con base a circa + 1 m sul l.m.m.). L'origine di tale ramo fluviale parrebbe quindi più recente della formazione del Po di Ferrara.

Altri sedimenti limoso-sabbiosi di cui risulta possibile riconoscere l'origine sono quelli che si incontrano in superficie o a profondità comunque molto ridotte lungo il margine SW della zona in esame e lateralmente alla S.S. 64 a Sud di Chiesuol del Fosso: si tratta evidentemente di depositi di argine naturale o di conoidi di rotta collegabili al corso del Reno che era qui ubicato nei secoli XVII e XVIII

Il Po di Ferrara risulta comunque il più importante corso d'acqua che ha dominato questa zona negli ultimi millenni. Nei tempi preistorici il Po, in questa parte della pianura, si suddivideva in più corsi, capaci di spostamenti laterali notevoli e frequenti. Nei territori tra un fiume e l'altro si alternavano boschi e paludi. E' assai probabile che il corso per Ferrara si sia individuato già nel II millennio a.C.; era sicuramente presente in età del Bronzo, quando probabilmente rappresentava la seconda linea di deflusso del fiume, mentre la principale, il Po di Adria, attraversava longitudinalmente il Polesine di Rovigo (Veggiani 1974). Il Po di Ferrara diviene il corso più importante intorno all'VIII secolo a.C., probabilmente in relazione con un generale peggioramento climatico, in cui si sono prodotti fenomeni di sovralluvionamento degli alvei, formazione di nuovi corsi fluviali e abbandono dei precedenti (tra i quali il suddetto Po di Adria). Questo periodo di maggior frequenza di rotte si è tradotto, nell'area in esame, in una fase di diffusione dell'ambiente palustre (Bondesan 2001b).

Più a Est, il Po di Ferrara proseguiva nel Volano e nell'alveo passante per Codrea, Gualdo, Voghenza e Gambulaga, probabilmente coincidente con il corso poi indicato con il nome di Eridano.

In età romana, con l'instaurarsi di un clima più caldo e asciutto, si produce un miglioramento delle condizioni di abitabilità del territorio padano; ne è stato favorito anche lo sviluppo dell'agricoltura, il che ha comportato ampi disboscamenti, ma non si ha traccia di insediamenti nell'area in esame. Il Volano, diramazione del Po di Ferrara, è già segnalato dagli storici (è l'Olana di Polibio, e il Volana di Plinio il Vecchio).

Il Reno teneva allora un corso passante per Castelmaggiore, S.Pietro e Poggio Renatico; è possibile che fosse attiva, più a Nord, una sua diramazione per Voghenza, ma è ancor più probabile l'esistenza

di un suo ramo confluyente nel Po di Ferrara presso Cassana (Veggiani, 1974), lungo il tracciato del “Canal Ladino”, marginale all’area qui considerata.

Fra i secoli VI e VIII, in un periodo climatico caratterizzato da particolare piovosità (Diluvio di Paolo Diacono), tra le diramazioni del Po di Ferrara inizia la decadenza dell’Eridano e diviene più importante il Volano. E’ probabilmente in questo periodo di frequenti rotte che si definisce il Po di Primaro. Presso la sua biforcazione dal Po di Ferrara, nasce la città di Ferrara.

Fra il IX e il XI secolo si ha una nuova importante variazione climatica in senso caldo: nel Ferrarese riprende lo sviluppo dell’agricoltura e vengono operati altri disboscamenti. Subito dopo inizia la decadenza del Po di Ferrara. Nel XIV secolo, infatti, comincia a presentare portata maggiore il corso attuale, per Pontelagoscuro, l’alveo che, secondo la tradizione, dovrebbe essersi formato con la Rotta di Ficarolo, del XII secolo. Man mano che il nuovo alveo si va ampliando, il Po di Ferrara e il Primaro si impoveriscono sia nella portata liquida sia nella capacità di trasporto dei sedimenti, i quali vanno ad ingombrare gli alvei rendendo più frequenti le rotte. Fino a questo momento gli allagamenti e le sedimentazioni provenienti da questi alvei si sono potute espandere liberamente nell’area considerata e verso sud-est, per la mancanza di particolari ostacoli.

Già con la fine del ‘400 quest’area viene raggiunta anche dalle alluvioni del Reno, che era stato portato da Cento a Vigarano Mainarda, e qui lasciato espandere nelle depressioni a sud di Ferrara.

Gli Estensi avevano però già cominciato ad innalzare argini ai vari rami del Po e attraverso il territorio, per riparare la città dalle esondazioni, e tra il 1473 e il 1500 realizzano la bonifica per scolo della Sammartina, con la costruzione, tutt’attorno, dell’argine della Sammartina e con lo scavo del Cavo del Duca, defluente nel Primaro a Marrara.

Nel 1526 Alfonso I d’Este, su pressione dei bolognesi, permette che il Reno venga portato a confluire nel Po di Ferrara, con un alveo artificiale costruito fra Vigarano e Porotto. Tale risoluzione si rivela ben presto sciagurata: l’intasamento del Po di Ferrara si accentua e in meno di 16 anni oltre quaranta rotte del Primaro portano a desolazione il Ferrarese meridionale e riportano l’ambiente palustre nell’area della Sammartina, fino alle porte della città.

Il Reno viene distolto dal Po di Ferrara nel 1604, e riportato a sfociare nelle paludi a sud di Ferrara per ottenere la loro bonifica per colmata; per alcuni anni espleta tale funzione nella Sammartina, poi, grazie anche al suo inalveamento nel Cavo Govone, sposta il suo fronte più a sud e nella seconda metà del secolo raggiunge le Valli di Marrara. Nel secolo successivo (fra il 1724 e il 1771) il fiume viene infine portato sull’attuale tracciato tra S. Agostino e Traghetto.

Intanto, già dai primi anni del XVII secolo, il Po di Ferrara aveva perso ogni sua naturale dipendenza dal Po. Non si estingue grazie al fatto di venire adibito, assieme al Volano e al Primaro, alla raccolta di acque di scolo; in particolare, il Po di Ferrara, ormai divenuto Poatello, diviene collettore delle acque dei territori a ovest di Cento e di quelli più depressi fra Secchia e Panaro, con la costruzione della Botte Napoleonica sotto il Panaro, attivata alla fine del secolo XIX.

Con la bonifica moderna, si perviene all’assetto attuale del territorio; nelle aree intorno alla città ancora soggette a sofferenze idrauliche vengono migliorate le condizioni di scolo, anche con la costruzione di appositi impianti idrovori. Per migliorare l’allontanamento delle acque dai territori fra Secchia e Panaro viene costruito l’Emissario di Burana, tra la Botte Napoleonica e il Volano, mentre l’ultimo tratto del Poatello viene adibito a convogliatore alle acque scolanti dall’area compresa tra Cento, Bondeno e Ferrara. Tutto il sistema Burana-Volano viene quindi sottoposto a risezionamento per fini di navigabilità, e collegato al Po nel 1914 con la costruzione del Canale Boicelli.

## **2 - ASPETTI GEOLOGICO-APPLICATIVI: SISMICITA’, SUBSIDENZA, LITOLOGIA DI SUPERFICIE, GEOTECNICA, ALTIMETRIA E GEOMORFOLOGIA**

Fatte queste premesse sulla storia del territorio, verranno nel seguito passate in rassegna le caratteristiche del territorio che sono oggetto di attenzione nel campo della geologia applicata. Nel presente paragrafo verranno presentate le indagini che definiscono l’assetto attuale e le problematiche

future per quanto riguarda sismicità, subsidenza, litologia di superficie, geotecnica, altimetria e geomorfologia.

## 2.1 – SISMICITÀ

I suddetti archi dell'orogene appenninico sepolto, come la maggior parte delle strutture dell'Appennino, sono ancora soggetti a movimenti, che spesso si traducono in sismi capaci di superare la soglia del danno. Si ha infatti notizia di 15 terremoti prodottisi a Ferrara e nelle aree immediatamente circostanti (e quindi attribuibili a movimenti dell'arco settentrionale) nel periodo 1234-1787, di cui 9 superiori al sesto grado della scala Mercalli; uno solo, quello del 1570 ha raggiunto l'ottavo grado (CNR 1980; Ardizzoni et al. 1991; Boschi et al. 1995, 1997; Camassi e Stucchi 1998; Bondesan 2002a). In considerazione di questi eventi, il Gruppo di Lavoro costituito dal Servizio Sismico Nazionale per la riclassificazione sismica del territorio nazionale, nella nuova mappa della pericolosità sismica messa a punto nel 1998 (Servizio Sismico Nazionale 1998), ha incluso il comune di Ferrara nella categoria 3 (territori suscettibili di terremoti fino al 7° grado Mercalli).

## 2.2 – SUBSIDENZA

L'area in esame, come in generale il territorio ferrarese, è soggetta a subsidenza. La componente naturale del fenomeno è prevalentemente ascrivibile al costipamento dei sedimenti più recenti, ancora non litificati. Il condizionamento del substrato è rappresentato dal suo stesso carattere di orogene recente, capace di dar luogo a movimenti verticali residui, nonché dalla sua forma corrugata, che determina variazioni locali dei tassi di costipamento dei terreni sovrapposti, producendo una loro attenuazione nelle zone corrispondenti agli alti strutturali sepolti.

Nella «zona via Bologna-Cona» le velocità di abbassamento riconducibili a tali fenomeni sono generalmente valutabili in meno di 1 mm/anno, ma, in considerazione di quanto detto sull'assetto geologico della zona, è plausibile una loro variabilità in direzione NE-SW, con un discreto aumento verso Poggio Renatico.

I fenomeni di subsidenza registrati con metodi strumentali sono però principalmente di carattere artificiale, denotano variabilità sia nello spazio che nel tempo, e sono attribuibili alla sottrazione di acqua dall'acquifero freatico o dagli acquiferi immediatamente sottostanti. Più precisamente, nell'area in esame le cause entrate in gioco sono, in ordine di tempo:

- gli abbassamenti indotti nella falda freatica per fini di bonifica: la Sammartina, come si è detto, era stata sottoposta già dagli Estensi ad una totale bonifica per scolo naturale e i riallagamenti prodottisi dopo il 1604, con la deviazione del Reno, sono stati progressivamente prosciugati e infine totalmente eliminati dalla bonifica meccanica, con la costruzione dell'idrovora di Torre Fossa; nel settore a Est del Primaro il sistema di scolo per gravità è stato integrato, nelle zone ancora sofferenti, con le idrovore S. Antonino e Valcore; analogamente, il prosciugamento delle ex Valli del Poggio è stato integrato con la costruzione dell'idrovora Torniano, presso Poggio Renatico;
- gli abbassamenti dei livelli piezometrici di falde di bassa e media profondità, causati da recenti emungimenti di acqua in quantità eccessiva rispetto alla capacità di ricarica spontanea delle falde stesse (Bondesan e Talassi 1987).

Sono causa di subsidenza anche forti escursioni del livello della falda freatica, fenomeno molto probabilmente intervenuto, specie nelle fasi più antiche della sistemazione idraulica delle aree in esame.

Anche variazioni del chimismo delle acque sono considerate capaci di determinare abbassamenti del suolo, sia pur limitati, quando sono in grado di indurre, per fenomeni elettrochimici, riduzioni di volume dei minerali argillosi (e i materiali argillosi, in effetti, sono particolarmente abbondanti nella zona qui considerata).

Per lo studio della subsidenza sono stati utilizzati dati di livellazioni geometriche di precisione (MURST 1997b; AA.VV. 2001). L'indagine della sua evoluzione nell'ultimo secolo si è infatti basata:

- sul confronto tra i dati del primo impianto della Rete Altimetrica Nazionale di precisione dell'Istituto Geografico Militare Italiano, istituita tra il 1885 e il 1902, e i dati della Nuova Rete Altimetrica Fondamentale realizzata dallo stesso ente nel secondo dopoguerra (Salvioni 1957);
- sul confronto tra le quote della Nuova Rete Altimetrica Fondamentale e le misure eseguite dallo stesso IGMI negli anni '70 (Bondesan et al. 1986);
- sul confronto tra le misure eseguite dall'IGMI negli anni '70 e quelle eseguite negli anni 1986-90 (Bondesan et al. 1997; Bondesan 2002b; MURST 1997b);
- sul confronto tra le misure eseguite dall'IGMI negli anni 1986-90, nonché dall'AGIP e dalla Provincia intorno al 1980, e le misure effettuate nel 1999 dall'ARPA (Barillari et al. 2003).

Nel secondo e terzo confronto sono rilevabili, in particolare, notevoli velocità di abbassamento nell'area della Sammartina (fin oltre 13 mm/anno nel periodo 1953-70 e fino a 15 mm/anno nel periodo 1970-90). L'ultimo confronto segnala invece un generale rallentamento del fenomeno (abbassamenti intorno a 5-6 mm/anno).

Non è possibile prevedere ulteriori sensibili attenuazioni del fenomeno per il futuro, per cui appare indispensabile controllare e limitare le attività che potrebbero produrre ulteriori abbassamenti, quali eccessive estrazioni d'acqua dal sottosuolo, forti e prolungate modificazioni della falda freatica, estrazioni di altri fluidi e dispersione di liquidi inquinanti.

### **2.3 - LITOLOGIA DI SUPERFICIE**

La carta della litologia di superficie del Comune di Ferrara è stata realizzata per il PRG del 1974 (Bartolomei et al. 1975), in base all'analisi granulometrica di 1350 campioni prelevati in punti omogeneamente distribuiti su tutto il territorio. Ogni campione rappresenta lo strato di terreno che va da 80 cm fino a 5 cm di profondità dal piano di campagna, e risulta dalla mescolanza di materiale raccolto in 4-6 punti, omogeneamente distribuiti sulla superficie di qualche ettaro. La scelta del metodo di analisi è stata condizionata dalla disponibilità di una notevole quantità di dati già ricavati dall'A.N.B. (Associazione Nazionale Bieticoltori) con il metodo di Bouyoucos. Anche nello studio per il PRG del 1974 è stato perciò adottato questo metodo. Le frazioni granulometriche prese in considerazione sono: sabbia (particelle comprese fra 1 e 0,08 mm), limo (0,08-0,002 mm) e argilla (<0,002 mm). Non sono stati rinvenuti granuli di dimensioni superiori ad 1 mm. La classificazione litologica in base alle tre classi granulometriche componenti è stata fatta, infine, per mezzo del diagramma triangolare di Shepard (1954).

La distribuzione dei vari tipi litologici è chiaramente legata al reticolo idrografico dei rami del Po e del Reno, che anticamente divagavano in questo settore della pianura.

Sui dossi del Volano, del Primaro e del Vecchio Reno sono presenti sedimenti sabbiosi (principalmente sabbie limose e sabbie argillose), alternati a terreni equilibrati (miscele ternarie argilla-limo-sabbia). Altri lembi di terreni equilibrati si rinvengono lateralmente a tali dossi.

Nella Sammartina, che costituisce un comparto morfologico concavo, compreso tra diversi fiumi, la maggior parte del terreno superficiale risulta costituita da materiali argillosi (argille-sabbiose, argille-limose e argille); in questa zona i terreni sono quindi, dal punto di vista agronomico, di modesto pregio.

Nel settore S. Giorgio-Fossanova S.Marco-Cona, in corrispondenza dei fianchi dei dossi maggiori (Volano e Primaro) e ai lati del paleoalveo di Aguscello si individuano plaghe a sedimenti sabbiosi alternati a terreni equilibrati, mentre nelle depressioni si hanno prevalentemente argille sabbiose.

Nella fascia percorsa dalla via Imperiale si passa, nel tratto orientato da Nord a Sud, da terreni equilibrati ad argille sabbiose e argille; queste ultime caratterizzano poi tutto l'altro tratto, orientato da NW a SE, tra la località La Stanga e Montalbano.

## 2.4 - CONDIZIONI GEOTECNICHE

Un'indagine sulle condizioni geotecniche generali del territorio comunale è stata effettuata già nel 1974; a questo scopo sono stati utilizzati i dati storici pubblicati, quelli censiti presso enti e ditte specializzate (90 colonne stratigrafiche, 100 sondaggi penetrometrici statici), sono state effettuate 112 nuove trivellazioni distribuite sul territorio secondo una maglia di 4 kmq, campionando sino a 10 m di profondità; in 85 di questi punti di prova è stata misurata la resistenza alla punta dei terreni con un penetrometro dinamico leggero (massa battente di 20 kg). Attraverso la determinazione del limite liquido, del limite plastico e della umidità naturale, si sono suddivisi i terreni in cinque classi, in funzione del grado di compressibilità e consistenza che i vari terreni presentavano nel sondaggio stesso. La I e II classe comprendono terreni a consistenza da compatta a media, la III classe comprende terreni a consistenza molle, la IV e la V comprendono terreni inconsistenti, con valori di umidità naturale superiori al limite di liquidità. Tale carta di zonizzazione geotecnica, ottenuta per interpolazione grafica fra i punti di sondaggio, rappresenta quindi volumi (per una altezza di dieci metri) di terreno a comportamento geotecnico simile (Bartolomei et al. 1975). Dati successivamente raccolti per interventi specifici hanno generalmente confermato questa zonizzazione.

Nell'area qui considerata, come in quasi tutto il territorio comunale, i terreni, classificabili ovunque come "terreni coesivi teneri", presentano un comportamento meccanico caratterizzato da:

- bassa resistenza al taglio;
- influenza della velocità di applicazione dei carichi sulla resistenza al taglio iniziale;
- incremento della resistenza al taglio con il procedere della consolidazione;
- anisotropia nei riguardi del coefficiente di permeabilità e quindi dei processi di consolidazione, con possibilità di cedimenti differenziali notevoli;
- consolidazione molto prolungata nel tempo,
- saturazione al di sotto della falda freatica.

Nella «zona via Bologna-Cona» sono rappresentati prevalentemente terreni appartenenti alla III e alla IV classe. Più precisamente, ricadono nella IV classe la parte centro-settentrionale della Sammartina (all'incirca entro il poligono Foro Boario, via Aeroporto, Torre Fossa, via Zandonai) e la fascia tra Aguscello e Cona. Attorno a queste aree dominano soprattutto terreni della III classe

Sono classificati pure in classe IV i terreni lungo la via Imperiale.

Il banco di sabbie citato si rinviene alla profondità di oltre 25 m.

Le penetrometrie dinamiche hanno messo in evidenza ovunque una crosta superficiale rigida dovuta ai fenomeni di sovraconsolidamento per essiccazione, il cui spessore è in stretta relazione con l'escursione della falda freatica. Al di sotto della crosta si hanno i valori minimi delle caratteristiche meccaniche che poi, a parità di natura litologica, tendono ad aumentare al crescere della profondità. Tale strato sovraconsolidato superficiale non deve essere utilizzato a sopportare carichi, se non per costruzioni di modesta entità.

Naturalmente questa classificazione non potrà risolvere problemi puntuali di fondazione, ma potrà indicare i rischi oggettivi che si possono incontrare nella progettazione e può indirizzare opportunamente la progettazione geotecnica nell'acquisizione dei parametri fisici necessari per il calcolo delle verifiche di stabilità.

## 2.5 - ALTIMETRIA (MICRORILIEVO-MODELLO DIGITALE DEL TERRENO)

La lettura ed interpretazione dell'assetto geologico attuale e in particolare della dinamica idrogeologica non può prescindere dall'assetto morfologico del territorio, espresso dalla distribuzione delle quote. Per una più diretta lettura della morfologia della «zona via Bologna-Cona» 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.

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.

Non rientra nel modello allegato, ma è ben descritta sulla Carta del Microrilievo realizzata come supporto al PSC comune di Ferrara nel 1995, la fascia di terreno percorso dalla via Imperiale: questa fascia resta comunque interamente compresa nella stessa depressione in cui è situato lo svincolo Ferrara Sud, depressione che presenta quote digradanti da 10 m fino a poco più di 5 m s.l.m. a SW della località La Stanga.

### **ELABORATI DI BASE**

#### ***Elaborato n° 1/03.02 - ZONA VIA BOLOGNA-CONA - MODELLO DIGITALE DEL TERRENO***

Questo modello rappresenta uno degli elaborati di base dello studio idrogeologico.

L'area è morfologicamente limitata in modo netto da due barriere morfologiche rappresentate, a Nord, dal Paleovalveo del Po di Ferrara e dalla sua continuazione nel paleovalveo del Po di Volano (fra Ferrara centro e Cona), ad Ovest da una zona elevata corrispondente alle passate rotte del fiume Reno ed alla sorta di "delta" con cui veniva fatto sfociare nella Sammartina (ad Ovest di Chiesuol del Fosso e, successivamente, a Sud di Bastia). Il limite Est è dato da un elemento morfologico rilevato rappresentato dal paleovalveo che si dirama dal Volano presso Codrea e su cui è impostata via Gualdo e poi la S.P. Cona-Portomaggiore (antico Eridano). Al centro della zona si può notare un'altra barriera morfologica in corrispondenza del paleovalveo del Po morto di Primaro attualmente percorso dal fiume Primaro. Tali elementi morfologici allungati dominano il territorio da un punto di vista altimetrico.

Come elemento morfologico depresso risalta la depressione della Sammartina, fra Chiesuol del Fosso ed il Primaro; a Sud di Cona si ha poi la zona altimetricamente più bassa dell'intero territorio studiato, corrispondente alla zona attraversata dallo scolo S. Antonino fino ai Prati di Palmirano.

Il limite meridionale della «zona via Bologna-Cona» è posto, come si è detto, sulla superstrada Ferrara-Mare.

La zona quindi si estende per circa 6 km da Nord a Sud e per circa 27 km da Est ad Ovest per una superficie totale di circa 162 kmq.

Le quote, riferite al livello del mare, vanno da un minimo di 1.5 m ad un massimo di 12.5 m.

Le zone topograficamente più elevate, 10-12.5 m s.l.m., si trovano poco a Nord dello svincolo Ferrara-Sud dell'autostrada A13 (estremo Ovest dell'area), e si estendono verso NE fino all'abitato di Porotto e verso Est fino all'abitato di Chiesuol del Fosso (quest'area era soggetta fino al XVIII secolo alle alluvioni del fiume Reno); altre zone topograficamente elevate, 8.5-10.5 m s.l.m., si dipartono da Ferrara, in corrispondenza del percorso del Primaro e del Po di Volano.

Le zone topograficamente più depresse, 1.5-3 m s.l.m., si trovano in corrispondenza delle località, individuabili sul C.T.R., dei Prati di Palmirano, del Pascolone, Ariosta, Cavallerizza, Fiaschetta a SO dell'abitato di Cona e ad Est dell'aeroporto del Volo a Vela; altra depressione topografica, 5-6.5 m s.l.m., si trova in corrispondenza della Sammartina, tra via Sammartina e la s.s. 64-Porrettana, ad Est dell'abitato di Chiesuol del Fosso e ad Ovest dell'abitato di Torre Fossa.

## **2.6 – GEOMORFOLOGIA**

L'assetto morfologico del territorio è il risultato dell'evoluzione geomorfologica Olocenica della pianura ferrarese, con particolare riguardo agli ultimi 3000 anni, come è stato illustrato al paragr. 1.2.

Per evoluzione geomorfologica si intende specificamente la progradazione dell'apparato deltizio del Po, che ha fatto 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.

L'analisi geomorfologica si è quindi avvalsa anche dei dati derivanti dall'analisi di varie stratigrafie, della litologia di superficie, dell'analisi fotogeologica e della cartografia antica (vedi anche Bartolomei et al. 1975; Bondesan et al. 1995; MURST 1997a).

La distribuzione dei paleocanali (oggi rimasti come paleoalvei, dossivi e non dossivi), 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 paleoalvei 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° 1/03.03 - ZONA VIA BOLOGNA-CONA - CARTA GEOMORFOLOGICA***

Questa carta rappresenta anche il secondo elaborato di base dello studio idrogeologico.

La ricostruzione geomorfologica di questa area parte dalle osservazioni che si possono fare dall'analisi altimetrica messa in evidenza dal Modello Digitale del Terreno. Mediante tali osservazioni, si può notare come il territorio in esame sia dominato da un lato da fasce di terreno particolarmente elevate (11-13 m s.l.m. ) ben riconoscibili in corrispondenza dei corsi fluviali attuali ed estinti, e dall'altro da varie zone depresse e bacini interfluviali (1.5-2.5 m s.l.m.). Il motivo di queste differenze altimetriche si deve cercare nella condizione dei fiumi della bassa pianura padana che generalmente hanno avuto un ruolo principalmente sedimentario. In queste condizioni il fiume, libero di espandere le proprie acque di piena in zone circostanti, tendeva a distribuire i sedimenti più grossolani, come le sabbie, nelle sponde naturali dell'alveo, mentre i sedimenti più fini si distribuivano più lontano, nelle aree situate tra un alveo e l'altro. I sedimenti più fini si costipano di più rispetto ai sedimenti grossolani e così si determinavano in maniera naturale dei notevoli dislivelli tra il fiume e i territori circostanti. Questa situazione, in condizioni normali, è provvisoria perchè il fiume raggiunta una certa altezza tende con rotte e mutamenti del corso a colmare anche le aree situate tra i diversi alvei. Ma gli interventi dell'uomo hanno modificato questa situazione costringendo i fiumi a scorrere sempre dentro lo stesso alveo, tramite progressivo innalzamento artificiale degli argini per contrastare il naturale innalzamento del letto del fiume, ed impedendo quindi l'arrivo di nuovi sedimenti nelle zone circostanti. In questa maniera quindi l'intervento antropico ha accentuato il dislivello tra il fiume e le campagna circostante. Si spiega così il dislivello altimetrico della zona in esame che vede le aree più elevate in corrispondenza dei fiumi estinti ed attuali e le aree più depresse che formano invece i bacini interfluviali. Tale dislivello è frutto anche della maggiore subsidenza delle aree depresse, con sedimenti fini a maggior attitudine al costipamento.

Le principali forme riscontrabili nel territorio sono pertanto costituite da:

- paleoalvei dossivi;
  - paleoalvei non dossivi (secondari);
  - ventagli e canali di rotta (crevasse e splay-channels);
  - catini interfluviali (comparti morfologici concavi),
- oltre a varie forme esclusivamente antropiche quali argini fluviali, tratti artificiali d'alveo, argini e terrapieni interni al territorio, canali attuali e canali abbandonati.

I principali paleoalvei dossivi sono costituiti dal:

- paleoalveo del Po di Ferrara, che rappresentava il corso principale del Po fino al XII secolo d.C. (data a cui viene comunemente riferita la rotta del Po a Ficarolo, che ha modificato l'idrografia della pianura ferrarese spostando a Nord il corso principale del fiume Po); questa forma ha un andamento digradante da NO verso E-SE; le sue golene arrivano a oltre 9 m s.l.m. e il suo argine destro (Argine Ducale) supera anche i 10 m;
- paleoalveo del Po di Volano, prosecuzione del Po di Ferrara, attualmente percorso dal Volano anch'esso con quote digradanti, da Ovest verso SE; il suo argine destro, di età rinascimentale, presenta quote di 10.5-11 m s.l.m. in corrispondenza di S.Giorgio e di circa 8 m s.l.m. in corrispondenza di Cona;
- paleoalveo del Po Morto di Primaro, diramatosi anch'esso dal Po di Ferrara e che insieme al Volano costituiva uno dei maggiori rami deltizi padani fino al XII secolo d.C., attualmente percorso dal Primaro, con quote arginali digradanti da Nord verso Sud da 9.5-10 m s.l.m. in zona S.Giorgio fino a quota di circa 8 m s.l.m. in zona Torre Fossa;
- paleoalveo, o per meglio dire "paleodelta", del cosiddetto "Vecchio Reno" formato dal paleo-fiume Reno tra il XVII e il XVIII nei territori a Sud di Ferrara; questo elemento geomorfologico si estende da Nord a Sud nella parte più occidentale dell'area di studio e supera i 10 m s.l.m.

Oltre il margine NW della «zona via Bologna-Cona» è presente anche il paleoalveo dossivo del Canal Ladino, situato a Sud di Porotto, forse formato dal Reno (o dal Panaro) in età antica.

Nel territorio sono riscontrabili anche vari paleoalvei secondari non dossivi, ventagli e canali di rotta, che si dipartono dai paleoalvei principali.

Per il resto l'area è composta da una vasta parte del bacino interfluviale della Sammartina, che rappresenta una conca chiusa tra i dossi del Canal Ladino e del Vecchio Reno, del Po di Ferrara, del Po di Primaro e dell'argine di S.Martino (tratto meridionale dell'antico argine della Sammartina). Tale bacino presenta quote digradanti da WNW a ESE, da m 11 nella parte occidentale fino a 5-5.5 m s.l.m. in località C. Branese vicino alla superstrada Ferrara-Mare (va però tenuto presente che il bacino idraulico attualmente detto della Sammartina ha come margine NW lo scolo Rinaldi, le cui spalle presentano quote di poco superiori a 9 m).

Verso SW, oltre il dosso del Vecchio Reno, la zona descritta dal modello comprende anche un lembo marginale del grande bacino interfluviale delle ex Valli del Poggio, che ha centro presso Poggio Renatico; qui le quote scendono verso SW dai m 11 del dosso del Vecchio Reno ai m 9,5 dei terreni prossimi al casello autostradale di Ferrara Sud.

Nel settore a Est del Primaro sono individuabili, oltre al fianco destro del dosso del Volano e al fianco orientale del Primaro (entrambi caratterizzati da ventagli e canali di rotta, piccoli dossi secondari che si dipartono da questi rami del Po), altre depressioni. Tutto il territorio presenta in genere quote sensibilmente minori a quelle delle zone a Ovest del Primaro; la depressione maggiore (Prati di Palmirano) presenta quote minime intorno a 1,5 m.

Non rientra nel modello allegato, ma è illustrata nella Carta Geomorfologica di supporto al PSC del 1995, la zona percorsa dalla via Imperiale: si tratta sempre del bacino interfluviale delle ex Valli del Poggio. Presso la località La Stanga, tale strada attraversa il suddetto paleoalveo non dossivo della antica via navigabile per il Bolognese; solo la parte terminale, presso Montalbano, risale il dosso del "riazzo del Gallo", ramificazione del corso del Reno formatosi nei secoli XVII e XVIII.

### **3 – ASPETTI GEOLOGICO APPLICATIVI: IDROGEOLOGIA - INTRODUZIONE**

Da un punto di vista idrogeologico, in relazione quindi all'acqua sotterranea, l'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. I rami abbandonati del Po (Volano e Primaro) 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”, oltre che tramite l’osservazione del rilievo morfologico (analisi del microrilievo) e la lettura delle forme geomorfologiche (come si è visto nei paragrafi precedenti), anche tramite la rappresentazione, con sezioni geologiche o carte isovalore, 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.

### **3.1 – CONTROLLO GEOLOGICO SULLA DINAMICA DELLA FALDA**

Le problematiche idrogeologiche della «zona via Bologna-Cona» sono soprattutto legate alla dinamica della falda freatica, il cui campo di moto, come vedremo, è soprattutto influenzato dalla morfologia e dalla distribuzione dei paleoalvei dossivi e dei canali irrigui e di bonifica più che dalla struttura geologica profonda.

Per la rappresentazione della struttura geologica superficiale del territorio indagato sono stati raccolti tutti i dati litostratigrafici disponibili, provenienti da diverse fonti (pubblicazioni scientifiche, elaborati tecnici del PSC comunale del 1995, stratigrafie fornite da sondatori locali, relazioni professionali su progetti specifici).

#### ***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 o limo-argilloso (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 a francamente argilloso (orizzonte 2a) con intercalazioni torbose (orizzonte 2b) e, più raramente, sabbiose

Orizzonte 3: Strato sabbioso sede della I falda in pressione

L’orizzonte 1 può anche mancare del tutto ed in tal caso l’orizzonte 2 si estende fino a piano-campagna. La dinamica della falda freatica si attua prevalentemente nel sub-orizzonte 1b.

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’antico Po, dei suoi rami minori e del Reno. In corrispondenza dei paleoalvei maggiori (Po di Ferrara, Po di Primaro) le sabbie sono prevalenti e sono di maggiore spessore, senza mai però andare in amalgamazione con il sottostante orizzonte 3 sabbioso (qui situato a maggiore profondità rispetto alla zona di Ferrara Nord).

L’orizzonte 2 corrisponde ad un catino interfluviale, quindi ad una piana di esondazione dei depositi fini, con episodi di ristagni d’acqua e conseguenti paludi.

L’orizzonte 3 appartiene 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* ed è stata determinata, dall'esame della Carta Tecnica Regionale in scala 1:5000, la quota assoluta s.l.m. del 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° 1/03.04 – ZONA VIA BOLOGNA-CONA – 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 (ip-Sbcop).

Per la ricostruzione dell'elaborato in questione sono state utilizzate 143 stratigrafie, provenienti dalle denunce pozzi del Servizio difesa Suolo Regione Emilia Romagna e dal Servizio geologico del Comune di Ferrara.

Dall'analisi della carta si nota che gli spessori minimi (0-2 m) si trovano corrispondenza della Sammartina e della zona a Sud-Est di Cona (Prati di Palmirano); gli spessori arrivano di contro ad un massimo di 5 m e più in corrispondenza della zona artigianale di via Bologna e dei paleoalvei del Po di Ferrara, del Primario e del Vecchio Reno (di fatto unici litosomi sabbiosi potenzialmente acquiferi ospitanti la falda freatica).

## **4 – 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.

Nella «zona via Bologna-Cona» la falda oggetto di studio è la falda più superficiale (che chiameremo freatica); l'interesse deriva dal fatto che è la dinamica di tale falda che può interferire con la trasformazione urbanistica del territorio, condizionandone lo sviluppo e dettandone i vincoli progettuali. La ricostruzione del campo di moto della falda confinata non è stata considerata per la carenza di punti di controllo a disposizione, in numero assai inferiore a quanto invece emerge nella zona Nord di Ferrara.

Per la ricostruzione del campo di moto della falda suddetta sono state effettuate 2 specifiche campagne freatimetriche durante le quali sono stati anche rilevati i livelli idrici dei canali principali (in connessione idraulica con la falda superficiale) e dei rami relitti del Po (pure ritenuti in connessione idraulica). Per la ricostruzione della distribuzione della trasmissività idraulica ci siamo basati sui dati stratigrafici immagazzinati nel *data-base* come verrà meglio illustrato più avanti.

### **4.1 - CAMPO DI MOTO DELLA FALDA IDRICA**

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 domestico o idropotabile).

La carta è frutto di interpolazione assistita da computer dei dati puntuali di carico idraulico effettivamente misurato. L'elaborazione finale è mostrata sia su base C.T.R., sia, tramite ArcView 3.2, su ortofotocarta; quest'ultima è la TerraitalyTM-it2000 (ortofoto digitale a colori dell'intero territorio italiano- ©Compagnia Generale Ripreseeree 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 all'area di studio. 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 ed una seconda 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 (se disponibili), la possibilità di effettuare una misura di livello piezometrico e la eventuale presenza di impianto di sollevamento per spurgare e campionare il pozzo (per eventuali indagini future e/o per la progettazione di una rete di monitoraggio della falda).

Alla fine si sono censiti un totale di 116 pozzi, ritenuti rappresentativi secondo un criterio di distribuzione spaziale il più omogenea possibile; le zone topograficamente più depresse risultano essere caratterizzate da un bassissimo numero di dati.

Tutti i dati, georiferiti con coordinate Gauss Boaga, sono stati immessi in un foglio elettronico *Access*, allegato nel CD. Di tutti i pozzi o piezometri è stata determinata la quota assoluta derivandola direttamente dalla C.T.R.

Nel *data-base* sono state inserite le seguenti informazioni riguardanti i pozzi-piezometri: codice identificativo, altezza del bocca-foro su p.c., misure idrauliche effettuate durante le campagne

piezometriche, diametro in millimetri del perforo, isobata dei tratti filtrati da piano-campagna, attività, uso e periodo d'uso del pozzo, possibilità di effettuare misure del livello piezometrico e prelevare campioni d'acqua.

### ***Elaborato n° 1/03.05a – ZONA VIA BOLOGNA-CONA - MORFOLOGIA DELLA FALDA FREATICA (periodo invernale)***

Questo elaborato di base dello studio idrogeologico è basato su misure eseguite in pozzi domestici di grande diametro attingenti alla falda freatica (quindi con profondità non superiore a 10 m); sono stati misurati anche i canali principali in connessione con la falda freatica (Po di Volano, Po morto di Primaro, Collettore principale di Cona, Scolo Rinaldi, Scolo Civetta, Scolo S. Martino).

L'elaborato ha lo scopo di fornire una Carta a isovalori del carico idraulico freatico, rappresentativa dell'andamento morfologico della tavola d'acqua, limite superiore della zona di saturazione nella zona di studio. I dati puntuali sono stati interpolati con criterio geostatistico. La Carta così ottenuta risulta essere la migliore stima possibile della morfologia della falda freatica e tiene conto degli effetti dei principali canali e degli scoli presenti in zona e delle interazioni della falda con i paleoalvei.

È importante considerare che la falda freatica, nella zona studiata, non è certamente interpretabile come un corpo d'acqua continuo ma piuttosto come un insieme di corpi idrici, separati e fluenti nei litosomi sabbiosi e sabbio-limosi, separati da plaghe argillose o limoso-argillose ove è più corretto parlare di zona di saturazione e non di falda vera e propria. Alla luce dei dati in nostro possesso non è possibile distinguere le falde idriche propriamente dette dalla zona di saturazione; comunque ai fini geotecnici la superficie riportata nell'elaborato 4 corrisponde effettivamente al limite superiore della zona di saturazione.

Per considerare, nella valutazione, anche l'escursione della tavola d'acqua e non solamente il livello assoluto, sono state effettuate 2 campagne freatimetriche; la prima è stata effettuata nei primi giorni del mese di Febbraio 2003 in un periodo non interessato da irrigazione e quindi senza l'influenza della rete di canali irrigui. La seconda è stata effettuata nel pieno dell'estate 2003, in una condizione di completo invasamento della rete irrigua. La campagna freatimetrica del mese di febbraio 2003 coglie l'andamento "non perturbato" e quindi naturale della falda superficiale, evidenziando le sue interazioni con i paleoalvei.

I dati necessari per definire il valore della variabile di studio in un punto per poi elaborare la carta della morfologia della falda sono: la distanza in metri della tavola d'acqua dal boccaforo del pozzo, ottenuta tramite un indicatore di livello o freatimetro, l'altezza in metri del boccaforo stesso dal piano campagna, la conoscenza della quota sul livello del mare del p.c.. Alla fine si riferisce la posizione del pelo libero della tavola d'acqua allo zero idrometrico così da ottenere una misura assoluta del valore della variabile "carico idraulico" in ogni punto misurato del dominio d'indagine.

L'analisi geostatistica della variabile "carico idraulico" così ottenuta, effettuata con il software SURFER 7.0 (Golden Soft.), ha avuto come finalità la determinazione della legge di autocorrelazione spaziale fra i dati, in modo tale da ottimizzare l'estrapolazione del dato alle zone con scarse informazioni dirette. La Carta delle Isofreatiche ottenuta dall'elaborazione dei dati attraverso l'applicazione SURFER 7.0 (passo della griglia di interpolazione pari a 400 m) è stata poi georeferenziata in coordinate Gauss-Boaga tramite ArcView 3.2.

La morfologia della falda è irregolare, presentando comunque una direzione di deflusso media da Nord-Nord Ovest verso Sud-Sud Est, controllata quindi dagli "alti" morfologici del Po di Ferrara e del vecchio Reno. Si individuano in particolare 2 alti, uno assoluto e l'altro relativo:

- il primo alto, con quote, digradanti da Ovest ad Est verso Chiesuol del Fosso, da 9.8 m a 8.0 m s.l.m., è individuato nella parte occidentale dell'area in prossimità dello svincolo autostradale Fe-Sud e morfologicamente in corrispondenza all'alto individuato dal paleoalveo del Vecchio Reno;

- il secondo alto, con quote tra 6.8 m e 6.5 m s.l.m., è individuato in corrispondenza della prima ansa del del Po Morto di Primaro, ha andamento Nord-Sud ed è anch'esso individuato in corrispondenza di un paleoalveo e in diretta connessione con il fiume.

I due alti suddetti si riallacciano a Nord all'alveo del Po di Ferrara nella cui continuazione verso Est (Po di Volano) la falda continua ad attestarsi a quote elevate. In generale, quindi, la falda ha un livello maggiore in corrispondenza dei paleoalvei e tende a scorrere verso i bassi relativi rappresentati dai catini interfluviali in corrispondenza della "Sammartina" (quote di 5.0-4.4 m s.l.m) e della zona tra Cocomaro di Cona e la superstrada Ferrara-Mare (2.5-2.0 m s.l.m.).

Il gradiente idraulico presenta valori medi di  $1.86 \times 10^{-3}$ , in corrispondenza del paleo-alveo di vecchio Reno, e di  $3.55 \times 10^{-3}$ , in corrispondenza del Primaro; i valori bassi del gradiente nelle zone depresse sono il risultato della forma morfologicamente depressa e della carenza di punti di controllo.

La distribuzione dei pozzi riflette la distribuzione delle aree a maggiore permeabilità; i depositi del paleo-Reno e del Primaro-Volano rappresentano le zone di preferenziale attingimento.

### ***Elaborato n° 1/03.05b – ZONA VIA BOLOGNA-CONA - MORFOLOGIA DELLA FALDA FREATICA (periodo estivo)***

La seconda campagna freatimetrica è stata effettuata nel periodo estivo (giorni 8 e 9 Luglio 2003). È stato misurato un numero inferiore di pozzi: 60 sul totale dei 116 misurati nella prima campagna (sono stati rimisurati comunque i fiumi ed i canali negli stessi punti di misura della precedente freatimetria). La riduzione del numero di punti di misura è conseguenza della ridondanza di informazione ottenibile con un numero superiore di pozzi; con criterio geostatistico, infatti, verificando il valore dello scarto quadratico medio dell'errore di misura relativamente alla prima freatimetria al variare del numero di pozzi considerati, è stato valutato in 60 il numero di punti di misura che continuano comunque a fornire un'informazione significativa per l'area indagata. In tal modo, fra l'altro, riducendo il numero di punti di controllo, è stato possibile restringere il tempo di effettuazione della campagna freatimetrica.

La seconda campagna freatimetrica è stata effettuata in un periodo irriguo, con i canali pertanto soggetti a riempimento per irrigazione; la campagna pertanto è da considerare perturbata rispetto alla precedente.

La morfologia della falda mantiene un andamento simile a quello rilevato nella prima freatimetria, controllata quindi dagli "alti" morfologici del Po di Ferrara-Po di Ferrara e del vecchio Reno. Si individuano in particolare 2 alti, uno assoluto e l'altro relativo:

- il primo alto, con quote, digradanti da Ovest ad Est verso Chiesuol del Fosso, da 8.5 m a 6.5 m s.l.m., è individuato nella parte occidentale dell'area in prossimità dello svincolo autostradale Fe-Sud e morfologicamente in corrispondenza all'alto individuato dal paleoalveo del Vecchio Reno;

- il secondo alto, con quote tra 6.0 m e 5.0 m s.l.m., è individuato in corrispondenza della prima ansa del del Po Morto di Primaro, ha andamento Nord-Sud ed è anch'esso individuato in corrispondenza di un paleoalveo e in diretta connessione con il fiume.

I due alti suddetti si riallacciano a Nord all'alveo del Po di Ferrara nella cui continuazione verso Est (Po di Volano) la falda continua ad attestarsi a quote elevate. Anche in questa seconda freatimetria, quindi, la falda ha un livello maggiore in corrispondenza dei paleoalvei e tende a scorrere verso i bassi relativi rappresentati dai catini interfluviali in corrispondenza della "Sammartina" (quote di 4.75 m s.l.m) e della zona tra Cocomaro di Cona e la superstrada Ferrara-Mare (minimo di 1.25 m s.l.m.).

Di fatto la morfologia della falda riflette quella della precedente freatimetria ma con un abbassamento generalizzato dal livello, come verrà meglio commentato nel paragrafo successivo.

## **Elaborato n° 1/03.05c – ZONA VIA BOLOGNA-CONA - ESCURSIONE DELLA FALDA FREATICA**

La differenza fra il valore di Febbraio ed il valore di Luglio, interpolata con criterio geostatistico sul totale dei 60 pozzi misurati nelle 2 campagne, permette di evidenziare come il livello di Febbraio, pur se in assenza dell'irrigazione, sia generalmente più alto. Da rilevare che i mesi di Maggio e Giugno 2003 sono stati caratterizzati da elevata temperatura ed evapotraspirazione per cui il livello di falda in Luglio risentiva certamente di questa particolare condizione termica.

I massimi valori di escursione si rilevano nella zona depressa ad Est del Primaro (superiore anche a 1.4 m) e nettamente superiore al valore massimo di 0.4 m nella depressione della Sammartina. Evidentemente la minore quota topografica e la minore soggiacenza determinano un maggiore effetto dell'evapotraspirazione e quindi un'escursione maggiore.

Un'escursione non trascurabile (fra 0.6 e 0.8) si registra in corrispondenza del paleo-delta del Reno e si noti il contrasto con la fascia del Volano dove il livello alto del corso d'acqua tiene più alta la falda in Luglio e determina valori di escursione minimi che localmente si annullano.

I minori valori di escursione nella depressione della Sammartina possono anche essere spiegati con la maggiore influenza locale dei canali irrigui.

Il valore medio dell'escursione rilevato fra Febbraio e Luglio 2003 è risultato pari a 0.7 m.

### **4.2 - TRASMISSIVITA' IDRAULICA DELL'ACQUIFERO**

Dopo avere definito il campo di moto della falda tramite le misure freatimetriche 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. 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 nel caso specifico); 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;

6) restituzione grafica, su base topografica C.T.R. 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.

### **Elaborato n° 1/03.06 – ZONA VIA BOLOGNA-CONA - TRASMISSIVITA' DELL'ACQUIFERO FREATICO**

Questa carta rappresenta l'ultimo elaborato di base dello studio idrogeologico.

Per la sua costruzione sono stati utilizzati 139 dati stratigrafici relativi alle denunce pozzi o a dati geognostici, forniti dal comune di Ferrara e dal Servizio Difesa Suolo Regione Emilia Romagna-Ferrara.

Dopo aver calcolato i valori di trasmissività con i metodi descritti in precedenza, il territorio è stato suddiviso in una griglia, con elemento quadrato di discretizzazione spaziale di lato pari a 100 m, contenente 5750 celle, ciascuna delle quali ha un valore della trasmissività ottenuto con le procedure già descritte, e un colore di una scala cromatica blu corrispondente ad una delle cinque classi di trasmissività che sono state così suddivise :

- |   |  |   |
|---|--|---|
| · | trasmissività/produktività molto bassa | $T < 6.0 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$   |
| · | trasmissività/produktività bassa       | $6.0 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s} < T < 1.3 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ |
| · | trasmissività/produktività media       | $1.3 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s} < T < 2.7 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ |
| · | trasmissività/produktività alta        | $2.7 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s} < T < 6.2 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ |
| · | trasmissività/produktività elevata     | $T > 6.2 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$   |

Dalla interpretazione dell'elaborato si può dedurre che il fattore chiave nel determinare la trasmissività è lo spessore dell'acquifero e la percentuale di livelli sabbiosi, sul totale, rispetto ai livelli fini. Si noti il ruolo chiave giocato dai paleoalvei, elementi essenziali del sistema idrogeologico superficiale. Infatti, le zone più produttive, con indice di produttività elevato-alto, sono risultate essere proprio quelle in corrispondenza delle zone topograficamente più innalzate, sede come già visto in precedenza di paleoalvei principali e secondari. Queste zone, a conferma della loro produttività, sono quelle in cui si concentrano la maggioranza dei pozzi censiti. Di contro le zone a produttività bassa e molto bassa sono risultate essere quelle in corrispondenza delle zone topograficamente meno elevate, sede dei bacini interfluviali (zona della Sammartina e la zona a Sud Ovest di Cona), in cui, chiaramente, la presenza di pozzi risulta essere molto più sporadica.

## ELABORATI DERIVATI DI SUPPORTO TECNICO

### **5 – 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 due 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 obiettivi della convenzione di 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'.
- 4) **ALLAGAMENTO DELLE SOTTOSTRUTTURE E DELLE SUPERFICI:** laddove la soggiacenza della falda freatica è minima, intesa come distanza fra il piano campagna e la tavola d'acqua, maggiore è il rischio di allagamento delle sottostrutture o delle superfici a seguito di eventi estremi. Tale rischio è messo in evidenza dalla CARTA DELLA SOGGIACENZA DI MINIMA DELLA FALDA FREATICA.

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.

## **5.1 - 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 alla zona ed all'acquifero freatico in esame.

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. La carta della vulnerabilità proposta rappresenta 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***

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.

Ai fini della definizione delle zone considerate "pericolose", per la zona di Ferrara Nord 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.

Tutti i dati censiti sono stati georiferiti ed organizzati in un GIS che permetta di individuare l'esatta ubicazione spaziale e la dimensione di ogni centro di pericolo all'interno del territorio, nonché la sua tipologia. 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). Le tipologie dei centri di pericolo risultano quindi raggruppate in otto diverse classi, in funzione dell'indice di pericolo associato. Sono distinguibili centri di pericolo puntuali e centri di pericolo ad estensione lineare, quali le autostrade e le ferrovie: il pericolo è, infatti, distribuito in ugual modo su tutto lo sviluppo della via di trasporto. Allo stesso modo, avrebbero potuto essere presenti centri di pericolo a estensione areale, tipicamente le zone soggette ad agricoltura intensiva; tuttavia, queste non compaiono sia perché sul territorio comunale l'agricoltura è prevalentemente di tipo estensivo, sia perché non sono reperibili dati che consentano di individuare e georeferenziare gli appezzamenti ad agricoltura intensiva prescindendo da sopralluoghi sul campo.

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

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

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 carta, in cui con le diverse intensità di colore sono rappresentate le cinque classi, continua a mettere in risalto la distribuzione dei centri di pericolo, ma, grazie alla moltiplicatività del pericolo, evidenzia maggiormente le celle caratterizzate da un pericolo più elevato in relazione al numero o all'entità dei centri di pericolo al loro interno.

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.

### ***Elaborato n° 1/03.09 – ZONA VIA BOLOGNA-CONA – VULNERABILITA' ALL'INQUINAMENTO DELL'ACQUIFERO FREATICO***

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. In tale secondo caso, con una valutazione di tipo conservativo, è stato considerato il livello della falda determinato nel Febbraio 2003, in quanto più vicino al piano-campagna.
- 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;

5) restituzione grafica, su base topografica C.T.R. 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.

Per l'elaborazione della carta sono stati utilizzate 139 dati stratigrafici relativi alle denunce pozzi o a dati geognostici, forniti dal comune di Ferrara e dal Servizio Difesa Suolo Regione Emilia Romagna-Ferrara.

Dopo aver calcolato i valori del tempo d'arrivo (espressione conservativa della vulnerabilità) il territorio è stato suddiviso in una griglia con elemento quadrato di discretizzazione spaziale di lato pari a 100 m contenente 5701 celle, ciascuna delle quali ha un valore specifico del tempo d'arrivo, e un colore di una scala cromatica da rosso a giallo corrispondente ad una delle cinque classi di vulnerabilità che sono state così suddivise :

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

Dall'esame della carta così ottenuta si può notare che i valori di vulnerabilità elevata sono distribuiti prevalentemente in corrispondenza dei paleoalvei principali e secondari (paleoalveo del Po di Ferrara, Paleoalveo del Po di Primaro, Paleoalveo del Po di Volano, Paleoalveo del Vecchio Reno) e in altre aree circoscritte che sono:

- l'area dove sorge il Palasport e il Palazzo degli Specchi tra via Beethoven e via Respighi ;
- una piccola area compresa tra via Bologna-via Mambro-viale Krasnodar
- l'area tra via Arginone e via Pelosa tra Cà Boschetto e la possessione Ca' Bianchina
- una piccola area tra via Recchi-via Bologna e via Canonici

- l'area tra la Ferrovia Bologna-Venezia e la zona Artigianale di via dello Zuccherò
- una piccola area tra la strada Porrettana e lo scolo consorziale Maffea
- una piccola area tra via Porrettana e l'inizio di via Sammartina
- una piccola area a S.Giorgio alla fine di via della Misericordia vicino alla Ferrovia Ferrara-

Codigoro

- l'area tra la superstrada Ferrara-Mare -via Gorgo-via Poletti.

I valori invece di vulnerabilità bassa e molto bassa si identificano in corrispondenza delle zone topograficamente più depresse, sedi dei bacini interfluviali (Sammartina e la zona a SW di Cona). Oltre a queste zone si possono identificare altre aree in cui il tempo di arrivo è compreso tra i 16 giorni e 21 mesi o più. Queste aree sono:

- in zona artigianale l'area compresa tra la ferrovia Bologna-Venezia ad Ovest, la ferrovia Ferrara-Rimini a Nord , area Rivana ad Ovest , scolo Tesoriere a Sud.
- un'altra ampia area compresa tra l'autostrada A13 a Ovest, via Vecchio Reno a Nord, la Porrettana ad Est e la superstrada Ferrara-Mare a Sud. Quest'area è tagliata da zone con vulnerabilità elevata in quanto sedi del paleoalveo del Vecchio Reno.
- l'ampia zona della cosiddetta "Sammartina"
- un'area ad Est del Primaro, a Nord di via Valdicuore, ad Ovest di via Ricciarelli e a sud della superstrada Ferrara-Mare.
- tutta la zona ad ovest di Aguscello a sud del Paleoalveo del Po di Volano, a Nord della superstrada e ad Est del paleoalveo su cui è impostata via Gualdo. Anche quest'ampia zona è tagliata da aree con vulnerabilità alta o elevata dovuta alla presenza di paleoalvei secondari o ventagli di rotta.

## **5.2 - ATTITUDINE ALLO SFRUTTAMENTO DELL'ACQUA SOTTERRANEA**

Vi è totale coincidenza fra tale tematismo e quello inerente alla trasmissività/produktività dell'acquifero freatico (Elaborato 5). 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.

## **5.3 - 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 8). 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.

## **5.4 - SENSIBILITÀ ALL'ALLAGAMENTO**

L'allagamento, e la sensibilità territoriale a questo fenomeno, sono funzione di diversi fattori: la capacità di drenaggio delle acque superficiali, l'efficienza del reticolo di scolo ed anche la soggiacenza della falda. Tali aspetti vengono considerati di seguito.

#### 5.4.1 – Vulnerabilità all'allagamento da fiumi

Benchè gli interventi di potenziamento degli argini fluviali continuino ad essere portati avanti, è prevedibile che in futuro questo tipo di vulnerabilità manterrà una notevole importanza, a causa dei cambiamenti in atto nei bacini e del mutamento climatico in corso.

Per valutare la vulnerabilità del territorio comunale per rotte di Po sono state considerate la portata e le quote definite dal PAI-Po per eventi con tempi di ritorno di 200 anni (Autorità di Bacino del Po 2002); per rotte di Panaro sono state considerate una condizione di piena rigurgitata dal Po e una condizione di massima piena propria del fiume; per rotte di Reno le portate e le quote definite dal PAI-Reno per tempi di ritorno 100 e 25 anni (Autorità di Bacino del Reno 2002). I tre fiumi sono stati poi suddivisi in tratti e per ciascuno di questi sono stati considerati due scenari: uno di gravità elevata e uno di gravità media, in funzione della quantità d'acqua che potrebbe essere riversata dalla rotta. Mediante l'analisi della C.T.R., il territorio sottostante i tre fiumi è stato suddiviso in "celle" e sono state analizzate le modalità con cui queste verrebbero allagate (v. anche Bottoni 1873; Marantonio 1951; Bondesan A. *et al.* 1995; Poluzzi 1999, Bondesan 2002c).

Il problema della pericolosità da esondazione è stato quindi scomposto nelle sue fondamentali componenti:

- la probabilità che hanno le varie parti del territorio di venire allagate;
- le sequenze di allagamento, ossia i tempi con cui le varie parti del territorio verrebbero raggiunte dalle acque di esondazione;
- il livello che queste potrebbero localmente raggiungere;
- l'energia che potrebbero avere.

Con l'inviluppo dei vari scenari sono state costruite le carte di sintesi, che differenziano il territorio in settori a diversi gradi di penalizzazione (il quarto fattore non interessa l'area in esame, poiché qui le acque disalveate potrebbero giungere solo indirettamente e abbastanza gradualmente).

L'area in esame risulta allagabile solo nel caso dello scenario più grave e soltanto a seguito di esondazioni del Po e del Reno. Esondazioni di Po potrebbero infatti raggiungerla solo nel caso di rotte di grande portata (oltre 9400 m<sup>3</sup>/s) riguardanti il tratto arginale che va dall'incile del CER all'incile del Canale Boicelli. Le acque del Reno potrebbero raggiungere la parte a Ovest del Primaro solo nel caso di rotte eccezionali riguardanti il tratto arginale che va da S. Agostino a Gallo (ponte della S.S. 64); il loro ingresso nella Sammartina potrebbe del resto essere del tutto evitato mediante la costruzione di un sovrassoglio di emergenza sulla superstrada Ferrara-Mare, in corrispondenza dello svincolo con la S.S. 64.

In tale scenario (di maggior gravità), in una scala che va da 0 a 40, la «zona via Bologna-Cona» presenta comunque penalizzazioni piuttosto basse:

- da 0 a 5, a Ovest del Primaro, per il settore a Nord dell'asse viale Beethoven-viale Wagner, per i terreni circostanti Chiesuol del Fosso e per il fianco del dosso del Primaro; a Est del Primaro, per i terreni tra S. Bartolo e Fossanova S. Marco, nonché per l'area tra Coccomaro di Cona, Cona e la superstrada Ferrara Mare;
- da 5 a 10, a Ovest del Primaro, per il settore compreso tra la via Pelosa, viale Beethoven, via Bologna e Chiesuol del Fosso, nonché per il settore più orientale della Sammartina e per i terreni più vicini al casello autostradale di Ferrara Sud; a Est del Primaro, per il territorio circostante Aguscello;
- da 10 a 15 per il settore più depresso della Sammartina, tra via Bologna, viale Wagner e la superstrada Ferrara-Mare, a Ovest del Primaro;
- da 15 a 20 per la zona di Villa Fulvia;
- da 20 a 25 per le golene del Volano e del Primaro.

La via Imperiale attraversa, nel tratto da Nord a Sud, fasce a penalità crescente, da 5-10 fino a oltre 30; situazione opposta si incontra invece nel tratto NW-SE, tra La Stanga e Montalbano (da oltre 30 a meno di 5).

Nello scenario di gravità media, le uniche zone penalizzate, per la «zona via Bologna-Cona», sono quelle a Est del Primaro, e precisamente:

- la zona di Villa Fulvia (punteggio da 10 a 15);
- le golene del Volano e del Primaro (punteggio da 15 a 20).

Lungo la via Imperiale, da Nord a Sud, si incontrano fasce a penalità crescente, da 0 a oltre 15; situazione opposta si riscontra invece tra La Stanga e Montalbano (da 15 a 0).

Per quanto riguarda il traffico indotto dall'emergenza connessa a tale pericolosità, si possono fare le seguenti distinzioni (Bondesan 2002c).

In caso di minaccia di rotta di Po, i centri compresi nella fascia settentrionale del territorio e la stessa città di Ferrara sono da considerare allagabili. L'esodo tenderà evidentemente a svilupparsi verso Sud, anche in funzione della posizione dei luoghi di soccorso attivati, e a questo scopo diverrebbero utili sia le grandi strade di scorrimento sia le strade minori. L'autostrada Ferrara-Padova, d'altronde, potrebbe essere allagata per il tratto compreso fra il Po e Cassana; il casello autostradale di Ferrara Nord potrebbe essere utilizzato per solo fino al momento della rotta, mentre resterebbe sempre praticabile quello di Ferrara Sud. Potrebbe risultare opportuno anticipare l'esodo dai centri minori, che potrebbe svilupparsi anche attraverso strade secondarie (ad es. in direzione della Diamantina-Vigarano Pieve, e poi verso Vigarano Mainarda, in direzione della tangenziale Ovest, della tangenziale Est ecc.); le strade più a ridosso della città potrebbero essere invece soprattutto attivate per l'esodo dai settori critici della città stessa, e la presenza di una via alternativa alla S.S. 64, quale potrebbe essere la via Imperiale potenziata, costituirebbe certamente un notevole aiuto. E' chiaro, comunque, che nella città e in tutto il territorio circostante si attiverebbe un traffico molto intenso.

In caso di minaccia di rotta di Reno, la situazione sarebbe del tutto diversa, poiché, anche nello scenario di maggior gravità, è prevedibile che passeranno molte ore prima che venga interessata dall'allagamento l'area in esame. Un traffico indipendente da tale interessamento sarebbe quello di esodo dai centri immediatamente minacciati (specialmente Poggio Renatico, Gallo e S.Bartolomeo). Tale traffico potrebbe comunque essere limitato alle arterie maggiori, anche in funzione della posizione dei centri di soccorso, e sarebbe consigliabile indirizzarlo prevalentemente sulla superstrada Ferrara-Mare, in direzione Est. Si dovrà comunque tener presente che l'autostrada Ferrara-Padova potrebbe venire progressivamente allagata per il tratto compreso fra il Reno e il cavalcavia sulla ferrovia Ferrara-Padova; il casello autostradale di Ferrara Sud dovrebbe quindi, ad un certo momento, essere chiuso anche al traffico diretto a Nord, mentre resterebbe sempre praticabile quello di Ferrara Nord.

La via Imperiale, da La Stanga allo svincolo Ferrara Sud e da La Stanga a Montalbano, verrebbe progressivamente allagata, a meno che nella risistemazione di tale tracciato stradale non venga anche previsto un suo notevole innalzamento; per varie ore dopo la rotta i due tronchi non ancora allagati, verso Ferrara e verso Montalbano, potrebbero essere di un certo aiuto per l'esodo dalla zona di Poggio Renatico; l'eventuale traffico residuo possibile verrebbe comunque servito dall'attuale S.S. 64.

#### **5.4.2 - Acque superficiali - sistema di scolo**

Nella parte ad Ovest del Primaro della «zona via Bologna-Cona», i canali generalmente non ricalcano antichi corsi d'acqua naturali; fa eccezione solo il canale Reno Abbandonato che segue il paleoalveo del Reno attivo nei secoli XVII e XVIII (Vecchio Reno). A Nord si hanno canali che si sviluppano principalmente in direzione NNE-SSW, seguendo o prolungando la linea di massima pendenza del fianco Sud del dosso del Po di Ferrara; più a Sud, i più importanti, presentano una direzione all'incirca perpendicolare, seguendo la pendenza generale del territorio. La rete presenta dunque una geometria mirata proprio a favorire lo scolo delle acque. In buona parte essa imita la sistemazione attuata dagli Estensi per la prima bonifica dei terreni a Sud della città: è infatti fedelmente riprodotta la trama dei canali perpendicolari al Po di Ferrara, mentre non vi è più

riscontro, nella zona considerata, del Cavo del Duca, il collettore principale della bonifica rinascimentale, che teneva la direzione NW-SE (è oggi visibile la sua traccia solo in foto aerea).

Sono di origine artificiale, peraltro, tutti i canali verso Poggio Renatico: costituiscono infatti una rete realizzata appositamente per le operazioni di bonifica moderna che hanno consentito il prosciugamento e la messa a coltura delle antiche Valli del Poggio.

Nel quadro della rete idraulica del Ferrarese (Giari *et al.* 1998; Roversi 1998; Bondesan 2002d, 2003a), questo settore territoriale è compreso nel comprensorio del Consorzio Valli di Vecchio Reno: per la maggior parte ricade nel bacino della Sammartina; solo la parte più meridionale, a Ovest del paleoalveo del Vecchio Reno, ricade nel bacino della Cembalina. Pure nel bacino della Cembalina ricade la via Imperiale.

Per quanto riguarda il bacino della Sammartina, le colatizie della parte più depressa, compresa tra la via Bologna e i canali Mambro, Civetta e S.Martino, sono raccolte principalmente dal canale Boldrini e vengono riversate nel Po di Primaro previo sollevamento meccanico all'impianto idrovoro Sammartina (Torre Fossa); quelle dei terreni più alti, circostanti, vengono invece conferite a gravità sempre al Primaro dai canali Mambro, S.Luca, Baiona e S.Martino.

Le acque della parte settentrionale del bacino della Cembalina vengono raccolte dal canale Reno Abbandonato e altri minori, e vengono conferite per gravità al Po di Primaro attraverso i canali Uccellino, S.Martino, Scolo Principale e Cembalina.

Ricadono sempre nello stesso comprensorio il territorio golenale dell'antico Po di Ferrara, che scola nel Canale di Cento, e la golena occidentale Primaro, scolante nello stesso Primaro.

Nella parte ad Est del Primaro, invece, i canali generalmente ricalcano antichi corsi d'acqua naturali, sia pur di dimensioni ridotte; fa eccezione in questo caso soprattutto il Canale S.Antonino Acque Basse, che fa capo all'omonima idrovora, scavato appositamente per permettere lo scolo dell'area più depressa, i Prati di Palmirano.

Questa parte di territorio è compresa nel comprensorio del Consorzio del II Circondario e ricade in due bacini: per la parte più vicina al Primaro e per alcuni terreni a Sud di Cona, nel bacino della Fossa di Porto Terre Alte, entro il quale è compreso il sottobacino di presollevamento Valcore, e per la parte restante nel bacino del canale S.Antonino Acque Basse.

Ricadono in questo comprensorio anche la golena destra del Volano, a valle di S.Giorgio, che scola nello stesso Volano, e la golena orientale del Primaro, scolante nel Primaro.

Sono invece interamente compresi nel comprensorio del Consorzio Valli di Vecchio Reno, la via Imperiale (bacino della Cembalina) e Montalbano.

Il tratto più settentrionale della via Imperiale è affiancato a Ovest dal tratto dello scolo Uccellino che scarica nel Canale di S.Martino, e ad Est, per meno di 500 m, dalla parte dello scolo Cascina pure scolante nel Canale di S.Martino; quest'ultimo costituisce un canale di acque alte in gronda al sottobacino del Torniano, che rientra comunque nel bacino della Cembalina. Il tratto successivo di tale strada è affiancato invece dai tratti dello scolo Uccellino e dello scolo Cascina tributari dello Scolo Torniano, il quale fa capo appunto all'idrovora di presollevamento Torniano. Lo stesso Scolo Cascina affianca poi il tratto di della via Imperiale orientato da N-W a S-E.

#### **5.4.3 - Acque superficiali: disponibilità e qualità**

Le acque della rete idrografica che si sviluppa nel territorio ferrarese servono a svariati usi:

- sono alla base dell'economia agricola, rendendo possibile anche lo sviluppo di colture particolarmente idroesigenti, in una zona in cui la piovosità media non è certo abbondante (650 mm/anno);
- vengono ampiamente utilizzate nell'industria e in altre attività economiche per le quali è possibile far ricorso anche ad acque non potabili e lo sfruttamento di acque sotterranee risulta inadeguato o inopportuno;
- assicurano i livelli d'acqua necessari per la navigazione interna;

- impinguando la falda freatica, mantengono l'equilibrio geostatico evitando fenomeni che potrebbero indurre subsidenza (ad es. esagerate escursioni della superficie piezometrica);
- assicurano una notevole diluizione degli inquinamenti, proteggendo in tal modo anche il suolo;
- dovrebbero infine assicurare nei canali il "deflusso minimo vitale" necessario per il mantenimento delle loro caratteristiche biologiche.

Poiché il regime pluviometrico regionale vede due periodi dell'anno prevalentemente siccitosi (quello estivo e quello invernale), il sistema è stato attrezzato in modo da essere impinguato, almeno da maggio a settembre, con acque derivate dal Po.

Nel disciplinare rilasciato dal Ministero dei Lavori Pubblici al Consorzio Generale di Bonifica nella Provincia di Ferrara, al quale aderiscono anche il Consorzio Valli di Vecchio Reno e il Consorzio del II Circondario, è stato infatti concesso di derivare dal fiume Po, in località Pilastresi di Bondeno, fino ad un massimo di 44 m<sup>3</sup>/s di acqua; con lo stesso accordo viene inoltre data facoltà di prelevare parte di questa quota - fino ad un massimo di 8 m<sup>3</sup>/s - in località Pontelagoscuro. Tale quantità viene poi distribuita ai vari consorzi elementari che operano nel territorio ferrarese: al Consorzio Valli di Vecchio Reno spettano 8,600 m<sup>3</sup>/s, mentre al Consorzio del II Circondario spettano 30,8 m<sup>3</sup>/s. Il Consorzio Valli di Vecchio Reno può inoltre derivare acqua dal C.E.R., in località S.Agostino, fino a 3,65 m<sup>3</sup>/s, 2 dei quali possono essere avviati verso Poggio Renatico e territori limitrofi.

Le acque di queste derivazioni invasano i corsi d'acqua circostanti questo settore del comprensorio, ossia il Po di Volano, il Canale di Cento e il Po di Primaro, e da questi vengono poi prelevate le quote destinate alle varie parti del territorio. Più precisamente, l'Idroforo Principale preleva dall'ultimo tratto dell'Emissario di Burana acque che vengono poi immesse nel bacino della Sammartina attraverso lo Scolo Rinaldi e il Tesoriere; queste raggiungono anche le parti più depresse del bacino.

L'approvvigionamento delle parti più alte del bacino è assicurata dall'idroforo irriguo di Chiesuol del Fosso che le immette nei canali Civetta e S.Martino. I terreni situati a Ovest del dosso del Reno Vecchio (bacino della Cembalina) vengono invece serviti con le acque sollevate dagli idrofori irrigui Mirasole e Bosconuovo, che le prelevano dallo Scolo Rinaldi e permettono loro di raggiungere il canale Reno Abbandonato e altri.

Tutti i canali summenzionati sono a funzione promiscua.

Per la zona a Est del Primaro, fino a Cona, le acque vengono prelevate dal Volano e dal Primaro. La derivazione dal Volano avviene mediante il sifone di Coccomaro di Cona (0,2 m<sup>3</sup>/s) che le immette nel Condotta Giglioli. Le derivazioni dal Volano avvengono mediante la chiavica di S.Giorgio (0,1 m<sup>3</sup>/s) che le immette nel Condotta Misericordia, e la chiavica di Fossanova S.Marco (0,2 m<sup>3</sup>/s) che le immette nel Condotta Gorgo. Queste acque vengono poi distribuite agli altri canali della rete, pure a funzione promiscua.

Un importante motivo di criticità del sistema è rappresentato proprio dalle difficoltà di approvvigionamento dal Po. Negli ultimi decenni, infatti, il prelievo dall'Impianto delle Pilastresi non ha potuto raggiungere i volumi previsti, a causa di mutamenti avvenuti nell'alveo del Po che hanno fortemente ridotto la possibilità di derivazione a gravità e hanno impedito alle bocche di presa di attingere le acque del Po durante le magre estive; per lo stesso motivo l'Idroforo sussidiario di Pontelagoscuro è stato dismesso, e attualmente non esiste più. Alle Pilastresi, nel luglio del 2002, è iniziata la costruzione di un impianto idroforo sussidiario, progettato per derivare con ogni livello idrometrico di Po, per una portata complessiva variabile da 12 a 15 m<sup>3</sup>/s; anche per Pontelagoscuro è progettata la costruzione di un nuovo impianto idroforo (portata totale 12 m<sup>3</sup>/s), con inizio dei lavori nel 2005. Va d'altronde tenuto presente, per quanto riguarda il futuro, che la tendenza climatica attuale comporta una variabilità ancor maggiore della portata del Po: i periodi esenti da piogge tendono ad allungarsi e il fiume registra sempre più spesso fasi di magra con portate inferiori ai 400 m<sup>3</sup>/s.

Un altro importante motivo di criticità è rappresentato dalla scarsa qualità delle acque superficiali, segnalata dalle stazioni di controllo ARPA esistenti sia sull'Emissario di Burana, sia sugli altri canali che interessano l'area in esame.

I parametri maggiormente responsabili di tale situazione sono l'ossigeno disciolto, l'ammoniaca, il COD e i coliformi. In una scala che va da I a IV in ordine di inquinamento crescente, presso Ferrara l'Emissario di Burana cade nelle classi II-III, il Volano in classe II, il Primaro nelle classi II-III (Provincia Di Ferrara 1997). La vulnerabilità delle acque in questi canali, in relazione alla pressione antropica presente sul bacino, alla distanza relativa dei punti di potenziale inquinamento e alla permeabilità del suolo, in una scala che va da I a IV in ordine di vulnerabilità crescente, è definibile di classe IV per l'Emissario di Burana, III-IV per il Volano, II-III per il Primaro (Bondesan 2003b). Una buona parte dell'inquinamento affluisce dai territori a monte (Bassa Modenese e Oltrepò Mantovano); si configura comunque una situazione generale di scarsa qualità delle acque per effetto di eccessiva pressione dell'uomo sul territorio. Per quanto riguarda la componente distrofizzante (nutrienti) l'attività di più alto impatto risulta quella agricola, mentre per il carico organico sono certamente significative anche le attività civili e industriali.

Le caratteristiche chimico-fisiche e microbiologiche migliorano sensibilmente durante il periodo irriguo (fra aprile e settembre), quando vengono immesse nella rete acque derivate dal Po, mentre nella fase di scolo si registra un netto peggioramento; in pratica le acque del Po, pur essendo a loro volta inquinate, esercitano una forte azione di diluizione dell'inquinamento nei canali adduttori.

Non esistono invece stazioni di controllo sui canali interni ai territori in esame, ma è facile intuire che le relative acque non possano avere una qualità migliore, dal momento che - come si è visto - si tratta di acque prelevate dai suddetti canali principali, sulle quali insistono poi anche gli inquinamenti locali (Provincia di Ferrara, 1997). I principali obiettivi generali da perseguire per migliorare lo stato di tali interne, con riferimento anche al Piano di Tutela delle Acque previsto dal D.Lgs. 152/99 (da adottare entro il 31/12/03), si possono considerare i seguenti:

- agevolare una maggior movimentazione delle acque con mantenimento di un deflusso minimo vitale, garantendo deflussi d'acqua artificiali anche nel periodo invernale;
- procedere, ove possibile, nell'applicazione di tecniche di fitodepurazione;
- migliorare i sistemi fognari-depurativi, prevedendo casse di laminazione delle acque reflue e dotando gli impianti di depurazione di vasche di prima pioggia;
- attenuare l'impatto dell'agricoltura, nel quadro del PRSR (Piano Regionale di Sviluppo Rurale) e delle prescrizioni contenute nel Codice di Buona Pratica Agricola;
- recepire, nella pianificazione territoriale, azioni volte alla riduzione del consumo di suolo (impermeabilizzazione), individuando interventi strutturali mirati alla costituzione di casse di espansione, risezionamento dei canali sottodimensionati, ecc.

Risulta in ogni caso necessario disporre di una maggior quantità d'acqua nella rete durante tutto l'arco dell'anno; ciò conferma l'opportunità di aumentare il prelievo di acque dai fiumi, effettuandolo anche nei mesi non irrigui, e di conseguenza ripropone, a livello regionale e sovraregionale, il fondamentale obiettivo di migliorare la qualità delle acque fluviali (Bondesan 2003b).

### **5.4.3 - Vulnerabilità per allagamento da canali**

Per la parte a Ovest del Primaro, nei PRG del 1974 e del 1995 erano segnalate importanti difficoltà di scolo per il bacino della Sammartina. Tali difficoltà erano dovute, oltreché alla conformazione del bacino (si tratta di una conca particolarmente chiusa) e alla scarsa permeabilità del territorio, al notevole sviluppo urbano che l'ha interessato negli ultimi cinquant'anni: il conseguente aumento di pressione antropica, con impermeabilizzazione di estese superfici, costruzione di nuove fognature che sfiorano nei canali della rete, tombinamento di vari tratti di canale ecc., aveva localmente modificato il regime idraulico, accelerando sensibilmente i tempi di corrivazione. La situazione era stata inoltre complicata dalla subsidenza e dalla maggior violenza assunta dagli stessi eventi precipitazionali.

Negli ultimi anni in quest'area sono però stati realizzati, sia sulla rete consorziale sia su quella comunale, interventi tesi al miglioramento delle condizioni di scolo; in particolare, sono state svincolate le acque dei terreni situati a Ovest della ferrovia Bologna-Ferrara, convogliandole nello

scolo Tesoriere; per il settore a scolo meccanico, nel 2000 è stata potenziata la portata dell'idrovora Sammartina (da 1,5 a 3 m<sup>3</sup>/s). A seguito di questa serie di interventi, si può ritenere che le difficoltà di scolo che hanno a lungo caratterizzato questa zona siano del tutto risolte.

L'area conserva comunque una certa "fragilità" idraulica; le nuove previsioni di utilizzo urbanistico rendono infatti necessarie particolari attenzioni, quali la creazione di casse di espansione (in considerazione dell'assetto idrogeologico locale, sarà consigliabile non spingere la profondità di tali casse di espansione oltre 1 m al di sotto dell'attuale piano campagna).

Per la parte a Est del Primaro, nei PRG del 1974 e 1995 erano segnalate difficoltà di scolo principalmente nelle zone Valcore, Palmirano e Cona. Nel primo caso si tratta di una conca particolarmente chiusa, nel secondo di una zona depressa, nel terzo di terreni caratterizzati da una condizione altimetricamente poco favorevole rispetto ai collettori di scolo. In tutte queste zone sono stati registrati allagamenti sia nel Maggio, sia nel Novembre del 1996.

Le sofferenze presentatesi nella zona a Sud di Cona sono attualmente in corso di soluzione, in relazione alla costruzione del nuovo polo ospedaliero.

Il segmento più meridionale della via Imperiale, tratto orientato da Nord a Sud, come quello più occidentale del tratto fra La Stanga e Montalbano, insistono su un territorio che presenta difficoltà di drenaggio. Si tratta infatti di un settore territoriale costituito da terreni bassi e poco permeabili; l'area più critica fa parte del già menzionato sottobacino di presollevarimento del Torniano. Parte di queste difficoltà potrebbero essere risolte in occasione della risistemazione di tali strade. In ogni caso anche l'attuale piano stradale non è mai stato interessato dagli allagamenti fin qui prodotti dalle suddette difficoltà idrauliche.

In generale, un'indicazione che appare comunque imprescindibile, al fine di diminuire la vulnerabilità per allagamento da canali, è rappresentato dal rispetto degli alvei di piena del Volano e del Primaro, principali convogliatori delle acque interne dell'area considerata.

#### **5.4.5 - Minima soggiacenza della falda freatica**

Un fattore importante che determina l'attitudine della zona a subire allagamenti è la distanza della zona di saturazione dal piano di campagna. Al diminuire della soggiacenza, e quindi al diminuire dello spessore della zona insatura, aumenta il rischio di allagamento del territorio, a parità di altri fattori di tipo altimetrico, climatico e geologico.

Non essendoci disponibilità di serie storiche di dati sull'escursione della falda freatica nella zona considerata la soggiacenza minima rilevabile nella zona è stata considerata pari a quella di valore inferiore rilevata fra le due campagne freaticometriche di Febbraio e Luglio 2003. Tenendo conto del fatto che le 2 campagne sono state effettuate in periodi climatici abbastanza estremi (forti precipitazioni nel periodo Dicembre 2002-Gennaio 2003; forte siccità nel periodo Maggio-Luglio 2003), il valore della soggiacenza minima determinato può essere considerato prossimo alla minima assoluta possibile nel territorio.

#### ***Elaborato n° 1/03.10 – ZONA VIA BOLOGNA-CONA - MINIMA SOGGIACENZA DELLA TAVOLA D'ACQUA***

Si sono considerati i punti di misura in cui la falda, misurata nei due periodi invernale ed estivo, risultava altimetricamente più alta. L'elaborato è stato discretizzato in celle di lato pari a 100 m, ciascuna delle quali rappresentata da un definito intervallo di soggiacenza minima e da un colore di una scala cromatica corrispondente ad una classe di allagabilità specifica.

Di fatto la soggiacenza minima è risultata essere quella di Febbraio su quasi tutti i punti d'acqua della zona (salvo 3); pertanto il fattore pluviometrico è risultato dominante sul fattore irriguo, anche in

virtù della forte evapotraspirazione che si è determinata nel periodo Maggio-Luglio. Solo il livello dei canali è risultato più alto in Luglio, per i motivi già ricordati.

L'elaborato, pertanto, è stato ottenuto interpolando assieme i valori di soggiacenza dei pozzi di Febbraio con quelli dei canali di Luglio; in tal modo si è ottenuto il valore massimo possibile di vicinanza della tavola d'acqua al piano campagna, almeno sulla base dei dati sperimentali disponibili.

I valori ottenuti, discretizzati come detto in 5 classi, determinano differenti condizioni di allagabilità, in relazione alla soggiacenza  $S$  della falda. Le classi ottenute sono le seguenti:

- Allagabilità Elevata  $S < 1.09$  m
- Allagabilità Alta  $1.09 \text{ m} < S < 1.74$  m
- Allagabilità Media  $1.74 \text{ m} < S < 2.38$  m
- Allagabilità Bassa  $2.38 \text{ m} < S < 3.03$  m
- Allagabilità Molto Bassa  $S > 3.03$  m

Il valore minimo di soggiacenza registrato è pari a 0.44 m da p.c.

I valori più bassi di allagabilità sono localizzati nella parte nord-occidentale dell'area, in relazione alle risalienze morfologiche dovute alla presenza del paleo-alveo del Po di Ferrara e del paleo-delta del Reno. Le zone più depresse a SW ed a SE risultano le più allagabili; i massimi valori si registrano all'estremo angolo SE dell'area dove si registra una soggiacenza minima inferiore ad 1 m. In corrispondenza del paleo-alveo del Primaro la classe di allagabilità si abbassa in relazione alla risalianza morfologica. La soggiacenza media minima del territorio risulta pari a 1.43 m da p.c.; la soggiacenza media massima registrata in Luglio risultava pari a 2.13 m da p.c.

Il responsabile scientifico della convenzione di ricerca  
Dott. Alessandro Gargini

## **Bibliografia**

AA.VV., 2001 - Note illustrative della Carta Geomorfologica della Pianura Padana (a cura di G.B. Castiglioni e G.B. Pellegrini). Supplem. di Geografia Fisica e Dinamica quaternaria, vol. IV, Torino.

Ardizzoni F., Dall'olio L., Linari R., Marson I., Nicolich R., 1991 - Sfruttamento del campo geotermico di Casaglia e controllo dell'impatto sul territorio, C.N.R. Atti 10° Conv. Gruppo Nazionale di Geofisica della Terra solida, 2, pp. 863-872.

Autorità di Bacino del Po, 2002 - Progetto di Piano stralcio per l'assetto idrogeologico del fiume Po.

Autorità di Bacino del Reno, 2002 - Piano per l'assetto idrogeologico del fiume Reno.

Barillari A., Bondesan M. & Gatti M., 2003 - Studio della subsidenza nel territorio del Comune di Ferrara. Ingegneri ferraresi, anno V, n. 9, pp. 33-38.

Bartolomei G., Bondesan M., Dal Cin R., Mase' G. & Vuillermin F., 1975 - Studio geologico coordinato per la pianificazione territoriale del Comune di Ferrara. Memorie della Società Geologica Italiana, vol. 14, pp.165-205.

Bondesan A., Dugoni G., Freddi N., Montani M. & Osti A., 1995 - Censimento delle emergenze idrauliche nella gronda ferrarese del Po; dati altimetrici e idrogeologici sul territorio provinciale. Amministrazione Provinciale di Ferrara, C. I. E. D. , Consorzio di Bonifica I Circondario, Magistrato per il Po, Ferrara

Bondesan per Amministrazione Comunale di Ferrara- Variante generale del piano regolatore generale di Ferrara 1995

Bondesan M., 2001a - Origine ed evoluzione geologica della Pianura Padana e del territorio Ferrarese. Storia di Ferrara, vol. 1, Territorio e Preistoria , pp. 18-39, Corbo, Ferrara.

Bondesan M., 2001b - L'evoluzione idrografica e ambientale della pianura ferrarese negli ultimi 3000 anni. Storia di Ferrara, vol. 1, Territorio e Preistoria, pp. 228-263, Corbo, Ferrara.

Bondesan M., 2002a - Considerazioni sulla sismicità del territorio ferrarese. R.T. per il PSC del Comune di Ferrara.

Bondesan M., 2002b - Quantificazione dei movimenti verticali del suolo nel Comune di Ferrara. R.T. per il PSC del Comune di Ferrara.

Bondesan M., 2002c - Pericolosità da allagamento fluviale nel territorio del Comune di Ferrara. R.T. per il PSC del Comune di Ferrara.

Bondesan M., 2002d - Pericolosità da allagamento da canali nel territorio del Comune di Ferrara. R.T. per il PSC del Comune di Ferrara.

Bondesan M., 2003a - Quadro della disponibilità di acque superficiali nel territorio del Comune di Ferrara. R.T. per il PSC del Comune di Ferrara.

Bondesan M., 2003b - Quadro della qualità delle acque superficiali nel territorio del Comune di Ferrara. R.T. per il PSC del Comune di Ferrara.

- Bondesan M., Dal Cin R. & Mantovani M.G., 1974 - Depositi fluviali würmiani in un pozzo terebrato presso Ferrara. *Annali dell'Univ. di Ferrara*, sez. IX, vol. 5, n° 8.
- Bondesan M., Ferri R. & Stefani M., 1995 - Rapporti fra lo sviluppo urbano di Ferrara e l'evoluzione idrografia, sedimentaria e geomorfologica del territorio. *Ferrara nel Medioevo; topografia storica e urbana* (a cura di A.M. Visser), Ed. Grafis, Bologna.
- Bondesan M., Gatti M. & Russo P. 1997 - Movimenti verticali del suolo nella Pianura Padana orientale desumibili dai dati I.G.M. fino a tutto il 1990). *Bollettino di Geodesia e Scienze Affini*, a. 56, 2, pp. 141-172.
- Bondesan M. & Mase' G., 1980 - Indagini geologiche per la redazione di un progetto di gestione del territorio e delle risorse naturali della provincia di Ferrara. *Relazione conclusiva*.
- Bondesan M., Minarelli A. & Russo P., 1986 - Studio dei movimenti verticali del suolo nella provincia di Ferrara. *Studi idrogeologici sulla Pianura Padana* (a cura di V. Francani), Milano, Clup, 2, pp. 1.1-1.31.
- Bondesan M. & Talassi P., 1987 - Emungimenti d'acqua e subsidenza a nord di Ferrara. *Notiziario del Consorzio Generale di Bonifica nella Provincia di Ferrara*, 19, pp. 29-37, Ferrara.
- Boschi E., Ferrari G., Gasperini P., Guidoboni E., Smriglio G., Valensise G., 1995 - Catalogo dei forti terremoti in Italia dal 461 a.C. al 1980, Ist. Naz. di Geofisica, S.G.A., Bologna.
- Boschi E., Guidoboni E., Ferrari G., Valensise G., Gasperini P., 1997 - Catalogo dei forti terremoti in Italia dal 461 a.C. al 1990, Ist. Naz. di Geofisica, S.G.A., Bologna.
- Bottoni A., 1873 - Appunti storici sulle rotte del Basso Po dai tempi romani a tutto il 1838 e relazione di quelle di Guarda e Revere del 1872. *Tipografia Sociale, Ferrara 1873*.
- Camassi R., Stucchi M., 1997 - Un catalogo parametrico di terremoti di area italiana al di sopra della soglia del danno (NT4.1); C.N.R., Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti, vers. 1.7.1997, 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.
- C.N.R., 1980 - Proposta di riclassificazione sismica del territorio nazionale, Progetto Finalizzato Geodinamica, n. 361, Ed. ESA.
- C.N.R., 1992 - Structural model of Italy. Progetto Finalizzato Geodinamica, Sottoprogetto Modello strutturale tridimensionale.
- Giari M., Morelli B. & Roversi R., 1998 - Le peculiarità del sottobacino Burana-Volano nell'ambito del grande bacino del Po. *Ingegneri Architetti Costruttori*, n. 593, Bologna, Ottobre 1998, pp. 557-558.
- Marantonio G., 1951 - Le inondazioni in Emilia e la sistemazione del Reno. *L'Universo*, anno XXXI, n. 4, Firenze.

- M.U.R.S.T., 1997a - Carta geomorfologica della Pianura Padana alla scala 1:250.000. Coordinatore Castiglioni G.B., S.EL.CA., Firenze.
- M.U.R.S.T., 1997b - Carta altimetrica e dei movimenti verticali del suolo. Elaborato tematico della Carta Geomorfologica della Pianura Padana alla scala 1:250.000, coordinatore Castiglioni G.B., S.EL.CA., Firenze.
- Pieri M. & Groppi G., 1981 - Subsurface geological structure of the Po Plain, Italy. C.N.R., pubbl. 414 Progetto Finalizzato Geodinamica, Sottoprogetto Modello Strutturale, 13, 7, Roma, pp. 1-11.
- Poluzzi L., 1999 - Cronologia delle rotte del Samoggia e del Reno. Tra Reno e Samoggia, soluzioni per i due fiumi, Regione Emilia-Romagna, Autorità di Bacino del Reno, Bologna.
- Provincia Di Ferrara, 1997 - Indagine quali-quantitativa delle acque dei bacini Burana-Volano e Canal Bianco; monitoraggio biologico e qualità dei corpi idrici; metodo I.B.E.; Dimensione Ambiente, 1999.
- Roversi R., 1998 - Il Consorzio di Bonifica Valli di Vecchio Reno. Ingegneri Architetti Costruttori, n. 593, Bologna, Ottobre 1998, pp. 571-578.
- Sala B. & Gallini V., 2002 - La steppa-taiga a mammut e rinoceronti lanosi di Settepolesini. Il popolamento faunistico e gli ambienti di pianura durante l'ultimo glaciale. Studi di geomorfologia, zoologia e paleontologia nel Ferrarese. Suppl. al vol. 78 degli Atti dell'Accademia delle Scienze di Ferrara, pp. 39-45, 2003.
- Salvioni G., 1957 - I movimenti del suolo nell'Italia centro-settentrionale. Dati preliminari dedotti dalla comparazione di livellazioni. Bollettino di Geodesia e Scienze Affini, 16, 3, pp. 325-366.
- Servizio Sismico Nazionale, 1998 - Proposta di riclassificazione sismica del territorio nazionale.
- Veggiani A., 1974 - Le variazioni idrografiche del basso corso del fiume Po negli ultimi 3000 anni. Padusa, 1-2, pp. 39-60.