

PROVINCIA DI FERRARA



ASSOCIAZIONE INTERCOMUNALE ALTO FERRARESE

**Comuni di Bondeno – Cento – Mirabello
Poggio Renatico – Sant’Agostino – Vigarano Mainarda**



CONTRIBUTO NATURA GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA ED IDROGEOLOGICA

Responsabile: Prof. Torquato Nanni, Università di Ferrara

Collaboratori: Dr. Nicolò Colombani, Università di Ferrara
Dr.ssa Micòl Mastrocicco, Università di Ferrara
Dr. Enzo Salemi, Università di Ferrara

INDICE GENERALE

Premessa	VII
Parte Prima	
ASSETTO FISIOGRAFICO DELL'ALTO FERRARESE	1
1. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO	3
2. TOPOGRAFIA DEL TERRITORIO	4
2.1 La carta clivometrica	6
3. I MOVIMENTI VERTICALI DEL TERRENO	9
3.1 La subsidenza naturale	9
3.2 La subsidenza artificiale	10
3.3 Le livellazioni geometriche	11
3.4 La situazione nell'Alto Ferrarese	15
4. BIBLIOGRAFIA PARTE PRIMA	18
Parte seconda	
ASSETTO GEOLITOLOGICO DELL'ALTO FERRARESE	21
5. INQUADRAMENTO GEOLOGICO-STRUTTURALE	23
5.1 Evoluzione geologica regionale	23
5.2 Tettonica	25
5.2.1 Strutture generali	25
5.2.2 Strutture locali: la Dorsale Ferrarese	28
6. GEOTERMIA	29
7. INQUADRAMENTO STRATIGRAFICO	34
7.1 La successione stratigrafica	34
7.1.1 L'unità profonda	35
7.1.2 L'unità superiore	37
7.2 Successione sedimentaria superficiale	38
7.3 Caratteristiche litologiche dei depositi superficiali	47
8. CARATTERISTICHE GEOMECCANICHE DEI TERRENI	51
8.1 Caratteristiche di edificabilità geomeccanica	53
9. BIBLIOGRAFIA PARTE SECONDA	55

Parte Terza

ASSETTO GEOMORFOLOGICO DELL'ALTO FERRARESE	61
10. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO	63
10.1 Evoluzione geomorfologica regionale	64
11. L'ANALISI DELLE FORME	77
11.1 Metodi	77
11.2 Le forme del territorio	78
12. LA CARTA GEOMORFOLOGICA DELL'ALTO FERRARESE	83
13. BIBLIOGRAFIA PARTE TERZA	89

Parte Quarta

ASSETTO CLIMATICO DELL'ALTO FERRARESE	93
14. DEFINIZIONI E METODI DI ELABORAZIONE	95
15. TENDENZE CLIMATICHE	99
15.1 Le tendenze globali	99
15.2 Le tendenze in Europa ed in Italia	101
15.3 Le tendenze in Emilia Romagna	102
16. INQUADRAMENTO CLIMATICO GENERALE DELL'AREA DI STUDIO	105
16.1 Temperatura	106
16.2 Precipitazioni	106
16.3 Venti	107
17. ALCUNI EFFETTI DELLE TENDENZE CLIMATICHE IN ATTO	109
17.1 Il 2006	109
17.2 Il primo semestre del 2007	111
17.3 Dicembre 2007	115
18. STRATEGIE PER IL FUTURO	118
19. BIBLIOGRAFIA PARTE QUARTA	120

Parte Quinta

ASSETTO IDROGEOLOGICO DELL'ALTO FERRARESE	125
20. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO	127
20.1 "Riserve idriche sotterranee della Regione Emilia-Romagna"	127
20.2 "Risorse idriche sotterranee della Provincia di Ferrara"	131
21. ELABORAZIONI PIEZOMETRICHE	138
21.1 Gli acquiferi confinati	138
21.2 L'acquifero libero	141
22. CARATTERISTICHE GEOCHIMICA DELLE ACQUE SOTTERRANEE	144
22.1 Geochimica del bacino idrogeologico della Pianura Emiliano-Romagnola	144
22.2 Geochimica dei serbatoi acquiferi della Provincia di Ferrara	147
23. LO STATO QUALITATIVO DELLA RISORSA IDRICA	151
24. CRITICITÀ E POTENZIALITÀ DEI SERBATOI ACQUIFERI FERRARESI	153
25. BIBLIOGRAFIA PARTE QUINTA	157

Parte Sesta

RISCHIO POTENZIALE	163
26. TIPOLOGIE DI RISCHIO POTENZIALE	165
26.1 La Carta del rischio potenziale	166
27. BIBLIOGRAFIA PARTE SESTA	169

Conclusioni e sviluppi	171
-------------------------------	------------

INDICE DELLE TAVOLE

B2.1 CARTA GEOMORFOLOGICA 1:40.000

B2.1N Carta geomorfologica 1:25.000

B2.1S Carta geomorfologica 1:25.000

B2.2 CARTA DELLE LITOLOGIE DI SUPERFICIE 1:40.000

B2.2N Carta delle litologie di superficie 1:25.000

B2.2S Carta delle litologie di superficie 1:25.000

B2.3 CARTA ALTIMETRICA 1:40.000

B2.3N Carta altimetrica 1:25.000

B2.3S Carta altimetrica 1:25.000

B2.3* CARTA CLIVOMETRICA 1:40.000

B2.3*N Carta clivometrica 1:25.000

B2.3*S Carta clivometrica 1:25.000

B2.8 CARTA DELLE QUALITÀ GEOTECNICHE 1:40.000

B2.8N Carta delle qualità geotecniche 1:25.000

B2.8S Carta delle qualità geotecniche 1:25.000

B2.13 CARTA DELLA SUPERFICIE FREATICA 1:40.000

B2.13N Carta della superficie freatica 1:25.000

B2.13S Carta della superficie freatica 1:25.000

CARTA DEL RISCHIO POTENZIALE 1:40.000

PREMESSA

Il Comune di Bondeno, come capofila dell'Associazione Intercomunale dell'Alto Ferrarese, rappresentato dal Dirigente del Settore Tecnico Dott. Ing. Carlo Poli, con Convenzione N. 18824 del 12/09/2007 ha attribuito al Gruppo di Idrogeologia coordinato dal Prof. Torquato Nanni, il compito di redigere un contributo specialistico in materia geologica, geomorfologica ed idrogeologica, sulla base dell'analisi e dell'elaborazione di studi esistenti, per il Quadro Conoscitivo del Piano Strutturale Comunale dei sei Comuni Associati di Bondeno, Cento, Mirabello, Poggio Renatico, Sant'Agostino e Vigarano Mainarda, in conformità al dettato della legge regionale n°20/2000 e successive modifiche, integrazioni e direttive applicative.

Le attività svolte nell'ambito del presente incarico hanno condotto alla redazione della relazione conoscitiva e di tavole tecniche (7 a scala 1:40.000 e 12 a scala 1:25.000) che costituiscono un documento di base atto a stimolare il dialogo tra tutte le parti coinvolte nel concepimento del Piano Strutturale Comunale al fine di ottimizzare la pianificazione territoriale per l'Alto Ferrarese.

La presente relazione, è composta di sei parti, articolate in ventisette capitoli:

Assetto Fisiografico

La prima parte riassume aspetti riguardanti l'inquadramento generale del territorio. Inizialmente vengono descritti i tratti salienti della geografia e della topografia del territorio; si pone poi l'attenzione sull'elaborazione della Carta Clivometrica che in un'area pianeggiante come quella in oggetto, consente di enfatizzare quelle che sono le caratteristiche salienti dal punto di vista fisiografico-morfologico. Infine ci si è concentrati su un'ampia trattazione del problema della subsidenza che affligge anche l'Alto Ferrarese, citandone le cause principali, i metodi di studio e le conseguenze sul territorio.

Assetto Geolitologico

Nella seconda parte è stata presa in considerazione l'evoluzione geologico-strutturale dell'area in esame dal momento che essa oltre a condizionare alcune forme tipiche del territorio in esame (dal punto di vista geomorfologico ed idrogeologico) può anche fornire importanti spunti per una mappatura delle risorse geotermiche dell'area, possibilmente sfruttabili come risorsa energetica alternativa.

Sempre nella seconda parte della relazione sono state analizzate le proprietà litologiche e geotecniche dei terreni presenti nell'area di studio, così da avere un quadro d'insieme su quelle che sono le caratteristiche intrinseche dei terreni costituenti l'Alto Ferrarese e quindi la loro propensione ad ospitare aree destinate ad usi differenti.

Assetto Geomorfologico

La terza parte si focalizza completamente sulla caratterizzazione geomorfologica del territorio, partendo da una descrizione della sua evoluzione recente, passando alla trattazione dei metodi di analisi impiegati ed alla descrizione delle principali forme presenti nell'area d'indagine, per finire con la redazione della Carta Geomorfologica dell'Alto Ferrarese.

Assetto Climatico

Nella quarta parte sono state presentate le più recenti valutazioni sui cambiamenti climatici in atto. E' stato descritto l'inquadramento generale del clima nell'area dell'Alto Ferrarese ed infine sono stati trattati gli impatti che i suddetti cambiamenti hanno causato negli ultimi anni e che, con ogni probabilità, continueranno a causare nella pianura emiliano-romagnola.

Assetto Idrogeologico

Nella parte quinta sono stati trattati vari aspetti concernenti la gestione delle acque sotterranee sia da un punto di vista quantitativo che qualitativo, con la descrizione di diverse carte tematiche (sia per gli acquiferi confinati che per l'acquifero libero). L'assetto idrogeologico del territorio è stato poi messo in relazione con le esigenze di sviluppo previste per il territorio dell'Alto Ferrarese, mettendo in evidenza sia le potenzialità che le criticità del sistema.

Rischio Potenziale

Nella parte sesta sono state confrontate le Carte Tematiche a scala 1:40.000 a corredo della presente relazione con le Carte di Sintesi dei Sistemi Residenziale e Produttivo al fine di individuare le "aree di attenzione" su cui gravano rischi potenziali di natura idrogeologica, idraulica e geotecnica.

Ciascuna delle parti sopradescritte è stata corredata da una bibliografia di riferimento per poter permettere non solo il ritrovamento dei dati sorgenti sui quali sono state fondate le analisi della presente relazione ma anche per fornire spunti per un eventuale approfondimento dei problemi trattati.

Al termine della presente relazione sono stati proposti alcuni possibili sviluppi futuri per la risoluzione di dubbi e problematiche evidenziate nel corso della relazione e per l'approfondimento di tematiche di particolare interesse.

PARTE PRIMA

ASSETTO FISIOGRAFICO DELL'ALTO FERRARESE

1 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

2 TOPOGRAFIA DEL TERRITORIO

2.1 La carta clivometrica

3 I MOVIMENTI VERTICALI DEL TERRENO

3.1 La subsidenza naturale

3.2 La subsidenza artificiale

3.3 Le livellazioni geometriche

3.4 La situazione nell'Alto Ferrarese

4 BIBLIOGRAFIA PARTE PRIMA

1 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

L'Alto Ferrarese comprende sei comuni: Bondeno, Poggio Renatico, Cento, Vigarano Mainarda, Sant'Agostino e Mirabello (ordinati secondo la loro estensione), per una superficie territoriale complessiva pari a 413,42 kmq.

Il territorio dell'Alto Ferrarese occupa la parte occidentale della Provincia di Ferrara. Il confine meridionale, che separa l'Alto Ferrarese dalla Provincia di Bologna, è costituito dal Fiume Reno; il limite settentrionale corrisponde in parte al territorio provinciale di Mantova (Lombardia) ed in parte al corso del Fiume Po, confine tra le Province di Ferrara e Rovigo (Veneto); il confine orientale è rappresentato dal Territorio Comunale di Ferrara mentre quello occidentale è ripartito tra i territori Provinciali di Mantova, Modena e Bologna (Fig. 1.1).

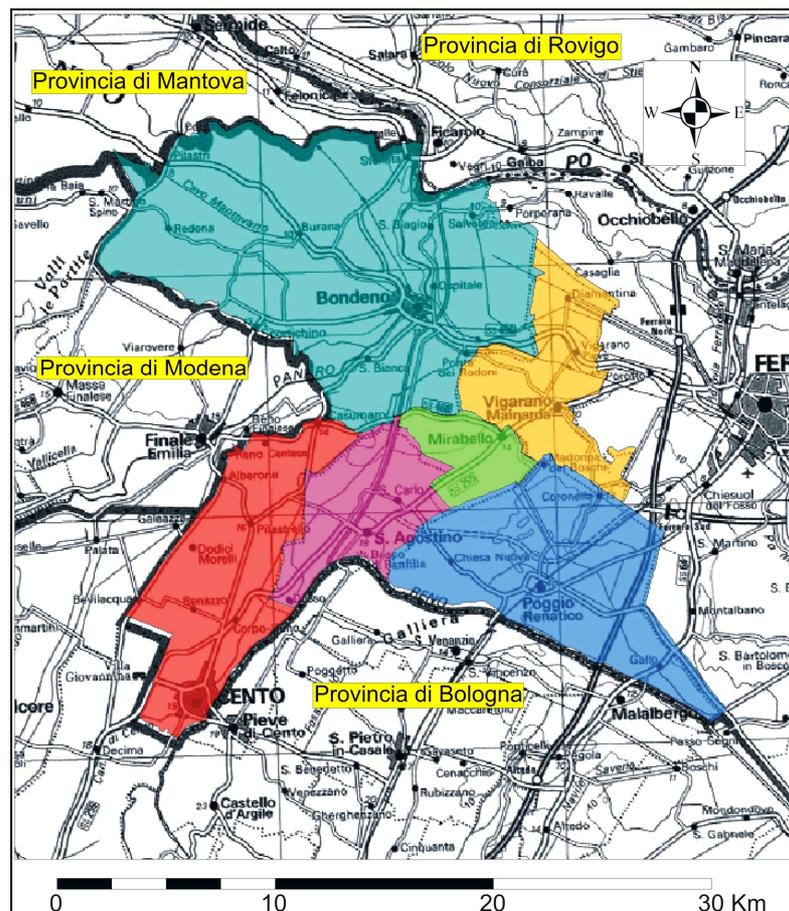


Fig. 1.1: I sei comuni dell'Alto Ferrarese

2 TOPOGRAFIA DEL TERRITORIO

La carta altimetrica (B2.3 scala 1:40.000, B2.3S e B2.3N scala 1:25.000) costituisce un documento fondamentale per la pianificazione territoriale, la difesa del suolo, la protezione civile e la gestione idraulica. Il Modello Altimetrico della Provincia di Ferrara (DTM, Digital Terrain Model) ricostruito grazie ai punti quotati della Carta Tecnica Regionale alla scala 1:5.000 (Fig. 2.1) sintetizza, mediante isoipse di equidistanza 1 metro, il quadro derivante dall'analisi delle quote puntuali. Per il territorio oggetto di questo studio le informazioni altimetriche disponibili sono sostanzialmente di due tipi:

- punti appartenenti a linee/reti di livellazione geometrica tecnica, di precisione e di alta precisione con un errore medio di 1 mm/km; nel territorio in esame i caposaldi di livellazione appartengono a:
 - linee di livellazione di alta precisione dell'IGMI;
 - linee di livellazione di alta precisione dell'ARPA Emilia-Romagna;
 - linee di livellazione di precisione di altri Enti (Consorzi di Bonifica, AGIP, reti locali comunali e provinciali, ecc.).
- punti quotati riportati sulla Carta Tecnica Regionale CTR in scala 1:5.000 realizzata tramite volo aerofotogrammetrico negli anni 1977/1979 con quota di volo di circa 2000 m con inquadramento altimetrico derivato dai caposaldi delle linee di livellazione dell'IGMI; nelle aree di pianura le informazioni altimetriche sono riportate tramite punti quotati isolati, con una tolleranza altimetrica di ± 1.20 m ed in numero medio di 15 punti ogni 25 ettari.

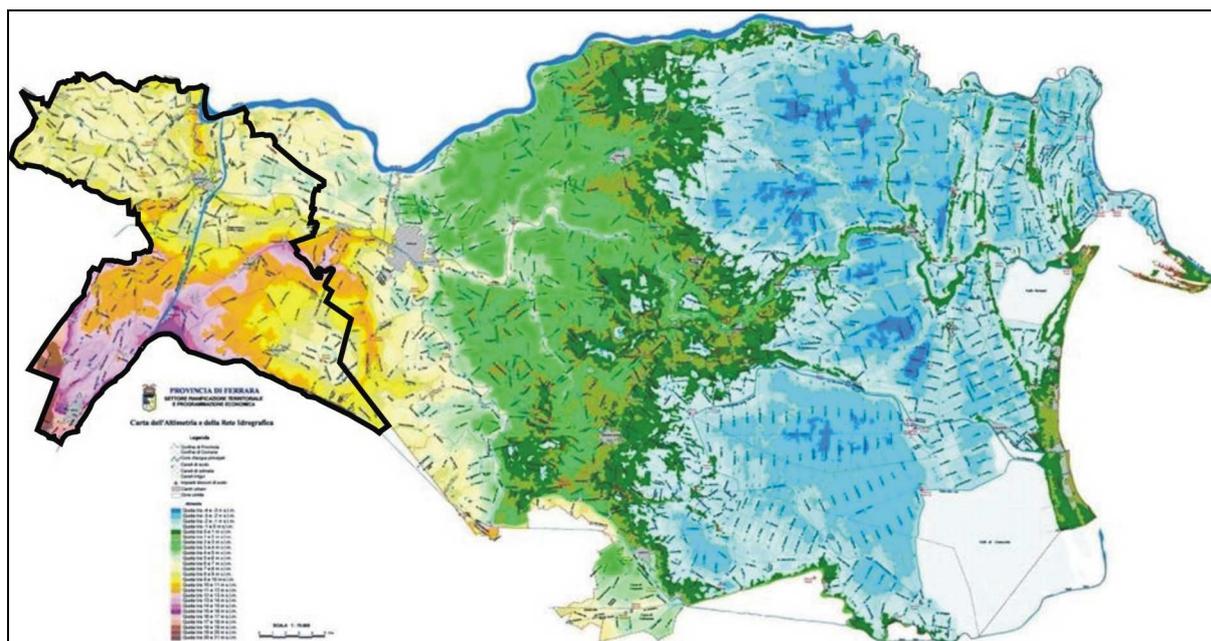


Fig. 2.1: Modello Altimetrico Digitale (DTM) della Provincia di Ferrara

Da un primo esame della carta altimetrica, si evince che l'orografia dell'Alto Ferrarese (Fig. 2.2), è caratterizzata dalla totale collocazione in pianura; l'altitudine è compresa tra un massimo di 23.35 m s.l.m. (nel Comune di Cento) ed un minimo di 4.4 m s.l.m. (nel Comune di Bondeno). Il dislivello per tutto il territorio dell'Alto Ferrarese è pari a circa 19 metri e, se si eccettua la porzione meridionale del Comune di Cento, è valutabile in non più di 10 metri.

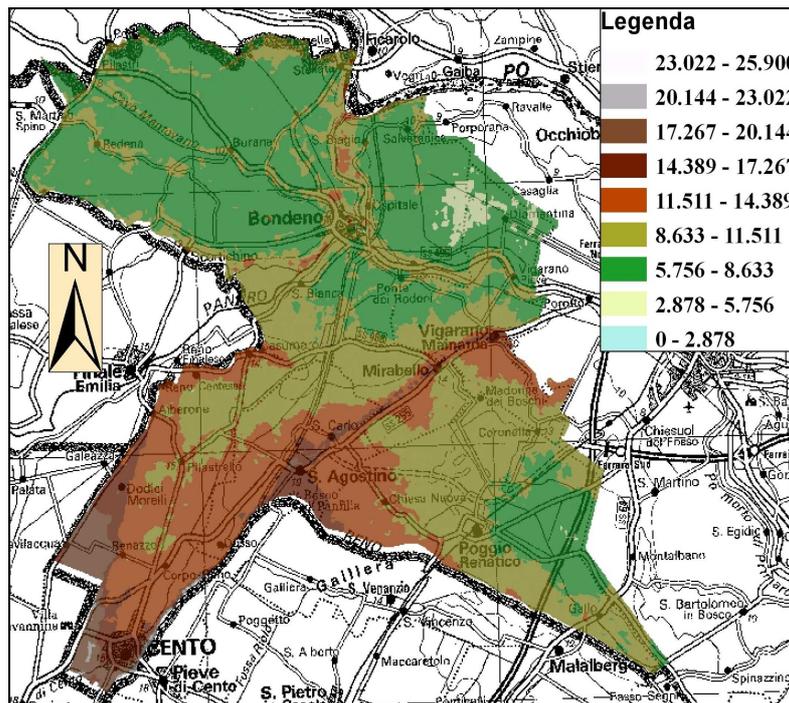


Fig. 2.2: Particolare del Modello Altimetrico Digitale (TIN) per l'Alto Ferrarese

Dalla carta altimetrica è inoltre possibile localizzare con una certa facilità gli antichi corsi dei principali fiumi che hanno solcato queste terre, ora espressi come paleoalvei dossivi e ben riconoscibili sulla carta. In particolare sono evidenti il corso dal paleo-Reno che dal territorio centese si dirigeva verso il paleoalveo del Po di Ferrara, l'area di divagazione del paleo-Reno presente in prossimità dell'abitato di Sant'Agostino ed infine i dossi imputabili ai paleo-Po di diverse epoche (Poazzo e Po di Ferrara) che si sviluppano nell'area in cui oggi scorre il Fiume Panaro. Altrettanto evidenti, sulla carta altimetrica, sono le zone depresse degli antichi intercatini, un tempo paludose e ripetutamente oggetto di interventi di risistemazione e bonifica. Le più importanti sono l'area della Diamantina al confine tra i territori comunali di Bondeno e di Vigarano Mainarda e l'area della Sammartina all'estremità orientale del comune di Poggio Renatico.

Per tale motivo lo studio del microrilievo è particolarmente delicato ma, essendo molto utile soprattutto per la ricostruzione dell'evoluzione idrografica, si è ritenuto di dover procedere alla derivazione del dato altimetrico ($SLOPE=\delta h/\delta l$) al fine di ottenere una carta clivometrica dell'Alto Ferrarese che, enfatizzando le aree rialzate rispetto alle conche, faciliti l'analisi delle forme.

2.1 La carta clivometrica

Attualmente l'altimetria del territorio provinciale ancora conserva le tracce dei dossi fluviali più recenti in quanto i più antichi molto spesso sono stati spianati, sia dall'azione naturale di erosione, sia da quella antropica. Inoltre la subsidenza, di natura tettonica e/o geotecnica, ha portato al completo seppellimento dei più antichi. Le principali forme riscontrabili nel territorio sono pertanto costituite da (Castiglioni e Pellegrini, 2001):

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

Di queste ovviamente solo alcune sono messe in risalto dall'analisi della carta clivometrica (B2.3* scala 1:40.000, B2.3*S e B2.3*N scala 1:25.000) qui elaborata, dal momento che, per la sua stessa natura di derivazione del dato altimetrico, essa mette in risalto soprattutto quelle strutture che presentano un forte dislivello con i terreni circostanti.

L'utilizzo più diffuso di tali carte riguarda in genere la caratterizzazione dei pendii montani, specie per una valutazione della loro stabilità. E' ovvio che per un territorio pianeggiante come quello in esame, tale utilizzo è fuori luogo; tuttavia, in aree di bassa pianura come quella che ospita in territorio dell'Alto Ferrarese, la carta clivometrica è sicuramente uno strumento di grande importanza per l'individuazione di quelle strutture che mostrano una marcata differenza di quota rispetto al livello generale della pianura; vale a dire: gli argini dei corsi d'acqua (naturali o artificiali) sia che si tratti di corsi d'acqua attuali sia che si tratti di corsi d'acqua estinti (paleoalvei).

In questo senso, la carta clivometrica è preziosa per la localizzazione dei paleoalvei dossivi (specie quelli di dimensioni considerevoli) e verrà quindi estesamente utilizzata nella redazione della carta geomorfologica di cui si parlerà nel Capitolo 12.

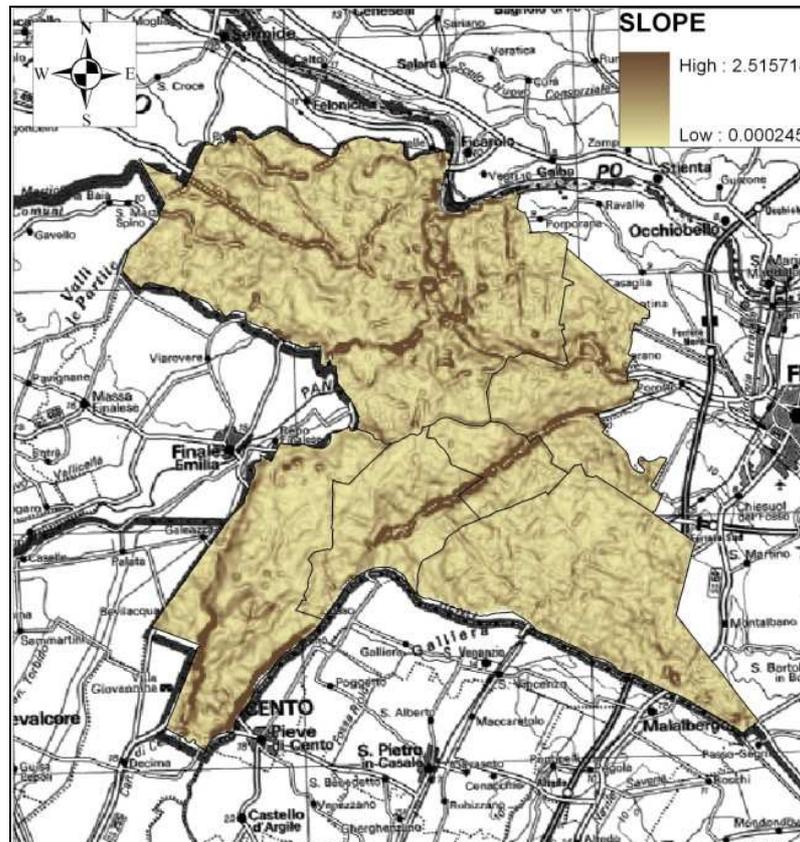


Fig. 2.3: Estratto dalla carta clivometrica dell'Alto Ferrarese (le pendenze sono espresso in °)

In particolare, dall'osservazione della carta, si può notare come i principali paleoalvei dossivi presentino la tipica struttura a "binario", con gli argini particolarmente rialzati sul territorio e quindi caratterizzati da un elevato valore di pendenza (in marrone più scuro in Fig. 2.3) ed il vecchio alveo del fiume leggermente incassato tra gli argini (in marrone chiaro in Fig. 2.3 perché caratterizzato da pendenze minori). Presentano questa forma sia il Palealveo del Reno che i principali Palealvei del Po.

Per i paleoalvei dossivi minori, questa struttura, seppur riconoscibile non è molto marcata data la minor quota altimetrica assoluta. Ovviamente, i paleoalvei secondari non dossivi non mostrando la suddetta struttura non sono affatto riconoscibili da un'analisi della carta clivometrica.

Per quanto riguarda invece i ventagli ed i canali di rotta, possiamo dire che il loro riconoscimento è sempre più difficile man mano che ci si allontana dal corso d'acqua che li ha generati, poiché la loro pendenza va via via diminuendo allineandosi infine con il livello generale della pianura circostante che li maschera completamente. Entrando nel dettaglio, uno dei ventagli più evidenti è riconoscibile, grazie alle discrete pendenze che lo caratterizzano, in località Cà Rossa nei pressi di Scortichino (nel Comune di Bondeno); si distinguono poi alcuni ventagli di esondazioni del Reno nei pressi di Gallo (nel Comune di Poggio Renatico) e diversi canali di rotta del Reno nella porzione meridionale del territorio comunale di Cento.

Infine, per ciò che concerne gli intercatini, possiamo dire che sono tipicamente caratterizzati da pendenze quasi nulle e quindi corrispondono ad aree chiare ed omogenee della carta clivometrica.

3 I MOVIMENTI VERTICALI DEL TERRENO

La subsidenza è il fenomeno di abbassamento della superficie terrestre causato da cambiamenti che avvengono nel sottosuolo. La Pianura Padana ed, in particolare, quella emiliano romagnola, è soggetta a fenomeni estesi di subsidenza (Carminati et al., 2006) che ha prodotto e in certi casi continuano a produrre notevoli danni. Questo processo, che può avere cause sia naturali che artificiali, diviene un vero e proprio fattore di rischio quando l'abbassamento del terreno è particolarmente forte o quando la topografia è già depressa e prossima al livello del mare. Infatti, a causa delle basse pendenze in gioco, esso ostacola il deflusso delle acque superficiali, alterando il profilo longitudinale degli alvei fluviali e, soprattutto, dei canali di scolo e dei collettori fognari; modifica inoltre i dislivelli che gli impianti idrovori debbono vincere per avviare le acque verso mare, ostacola l'irrigazione e riduce i franchi di coltivazione. Per una pianura alluvionale come quella dell'Emilia-Romagna i valori di subsidenza naturali sono di 0.1-0.3 cm/anno, mentre i valori effettivamente misurati negli ultimi decenni sono spesso maggiori di 0.4 cm/anno con punte di 4-5 cm/anno a conferma che sul nostro territorio agiscono anche fenomeni di subsidenza artificiale, talvolta di entità considerevole.

3.1 La subsidenza naturale

La componente naturale del fenomeno è prevalentemente ascrivibile al costipamento dei sedimenti più recenti non litificati ed alla risposta isostatica della crosta al variare dei carichi superficiali.

Il condizionamento del substrato è rappresentato dal suo stesso carattere di orogene recente capace di dar luogo a movimenti residui sia orizzontali che verticali (neotettonica), nonché dalla sua forma corrugata che determina variazioni locali dello spessore dei sedimenti sovrapposti e conseguentemente un diverso tasso di costipamento.

Sulla base di dati archeologici e di sondaggi è possibile affermare che nel territorio dell'Alto Ferrarese sono attivi entrambi i meccanismi sin qui descritti, ragion per cui il tasso di subsidenza naturale è variabile da zona a zona e comunque è generalmente inferiore a 0.3 cm/anno (Pieri e Groppi 1981, CNR 1992).

3.2 La subsidenza artificiale

Il fenomeno della subsidenza artificiale (o indotta) è legato all'azione dell'uomo sul territorio e proprio per questo si verifica in tempi più brevi rispetto a quello della subsidenza naturale mostrando una certa variabilità sia nello spazio che nel tempo. Nella Pianura Padana orientale questi abbassamenti per subsidenza hanno avuto ed hanno anche attualmente una notevole importanza. Più precisamente, nell'area in esame le cause entrate in gioco sono, in ordine di tempo:

- abbassamenti dei livelli piezometrici di falde di bassa e media profondità, causati da emungimenti in misura superiore rispetto alla capacità di ricarica spontanea delle falde stesse (Bondesan e Talassi 1987); ne sono un esempio la coltivazione di acque metanifere da giacimenti quaternari, lo sfruttamento dell'energia geotermica del sottosuolo, nonché forti emungimenti per usi industriali ed agricoli;
- prosciugamenti di zone umide o comunque abbassamenti di livello delle falde freatiche per operazioni di bonifica o di sistemazione agraria che determinano abbassamenti sia in relazione al costipamento meccanico dei sedimenti non più interessati dalla falda, sia all'ossidazione delle torbe contenute negli stessi; tale pratica, iniziata su vaste aree fin dal tempo degli Estensi, è stata intensificata nei primi decenni del XX secolo con l'ausilio delle macchine idrovore; ne è un esempio la Sammartina, già sottoposta ad una bonifica per scolo naturale nel XV secolo, dopo gli allagamenti del 1604 dovuti alla deviazione del Reno, è stata progressivamente prosciugata grazie alla bonifica meccanica; analogamente, il prosciugamento delle ex Valli del Poggio è stato integrato con la costruzione dell'idrovora Torniano, presso Poggio Renatico;
- variazioni del chimismo delle acque sotterranee (in particolare del grado di salinità), che determinano fenomeni elettrochimici capaci di indurre riduzioni di volume nei minerali argillosi (particolarmente abbondanti nella zona qui considerata); ne è un esempio l'immissione in falda di acque reflue nei centri privi di fognature;
- l'imposizione di carichi legati al peso di grandi manufatti, come agglomerati di costruzioni, terrapieni, argini ecc., i cui effetti sono però molto localizzati.

3.3 Le livellazioni geometriche

Per lo studio della subsidenza in genere, e in particolare per l'indagine della subsidenza artificiale, la principale metodologia è costituita dalle livellazioni geometriche. Le livellazioni geometriche eseguite da IGMI nella Pianura Padana orientale dalla fine del secolo scorso ai giorni nostri sono state numerosissime. Anche le linee e le reti locali, eseguite per scopi tecnici, hanno comunque come sistema di riferimento altimetrico la rete nazionale IGMI. Per il presente PSC sono stati considerati solo i dati provenienti da livellazioni di alta precisione, e si possono considerare tali solo quelli ottenuti dallo stesso IGMI sulla sua rete nazionale e, per la nostra regione, anche dall'ARPA sulle stesse linee (Fig. 3.1 e 3.2). Al di fuori di queste linee presentano tali caratteristiche di qualità solo le quote relative ad alcuni caposaldi misurati ripetutamente dall'AGIP e dalla Provincia di Ferrara.

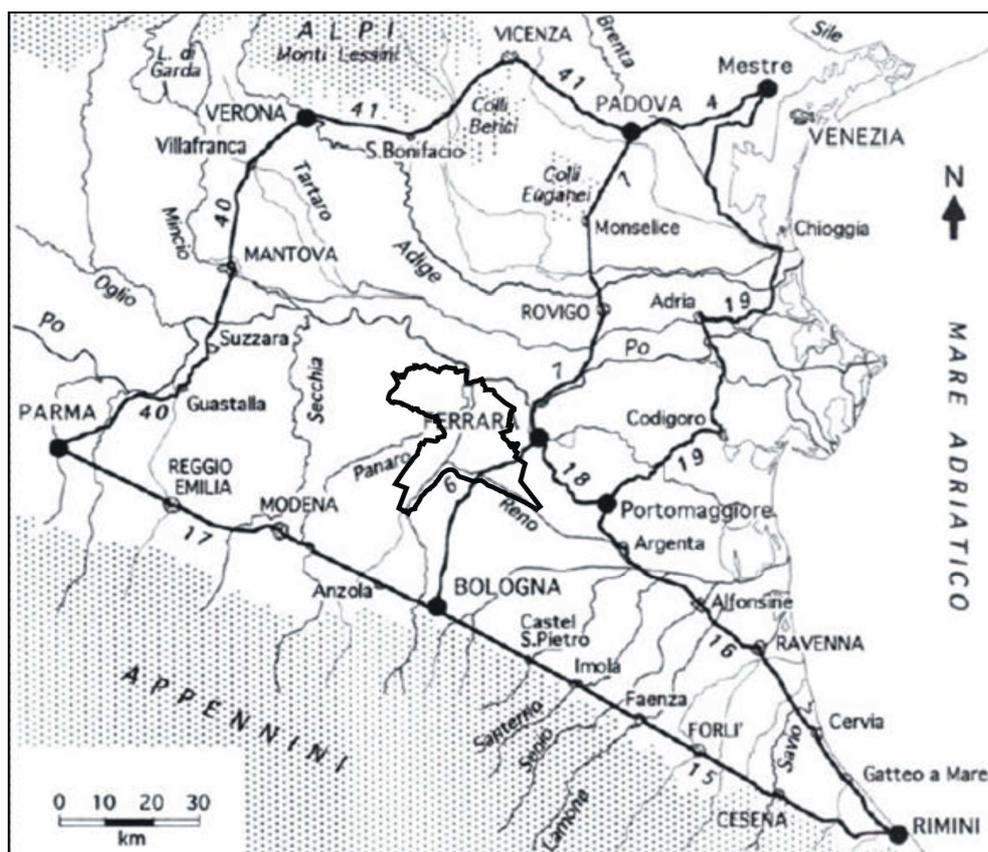


Fig. 3.1: Linee di livellazione di alta precisione IGMI della pianura orientale. Le Linee IGMI d'interesse per il territorio dell'Alto Ferrarese sono la 6, la 7 e la 18.

Per l'area in esame, purtroppo, le reti di livellazione geometrica di precisione effettivamente utilizzabili si riducono sostanzialmente a:

- Rete Geodetica Altimetrica Nazionale dell'Istituto Geografico Militare (Salvioni 1957, Bondesan et al. 1986 e 1997; Bondesan 2002b; MURST 1997b) (vedi Fig. 5): Linea 6 (Bologna-Ferrara) rilevata negli anni 1886, 1943/1949, 1973-1990; Linea 7 (Ferrara-Padova) rilevata negli anni 1884, 1942/1947-1970, 1978-1984-1986; Linea 18 (Ferrara-Portomaggiore) rilevata negli anni 1885/1902, 1950/1953-1970, 1986-1990.
- Rete dell'ARPA Emilia-Romagna per il controllo della subsidenza rilevata nel 1999 e ripetuta solo in parte nel 2005 (Barillari et al. 2003) (vedi Fig. 3.2); le linee utilizzate dall'ARPA in molti casi coincidono con linee di livellazioni istituite e rilevate anche da altri Enti (come ad esempio il Catasto, i Consorzi di Bonifica, l'AGIP, ecc.).

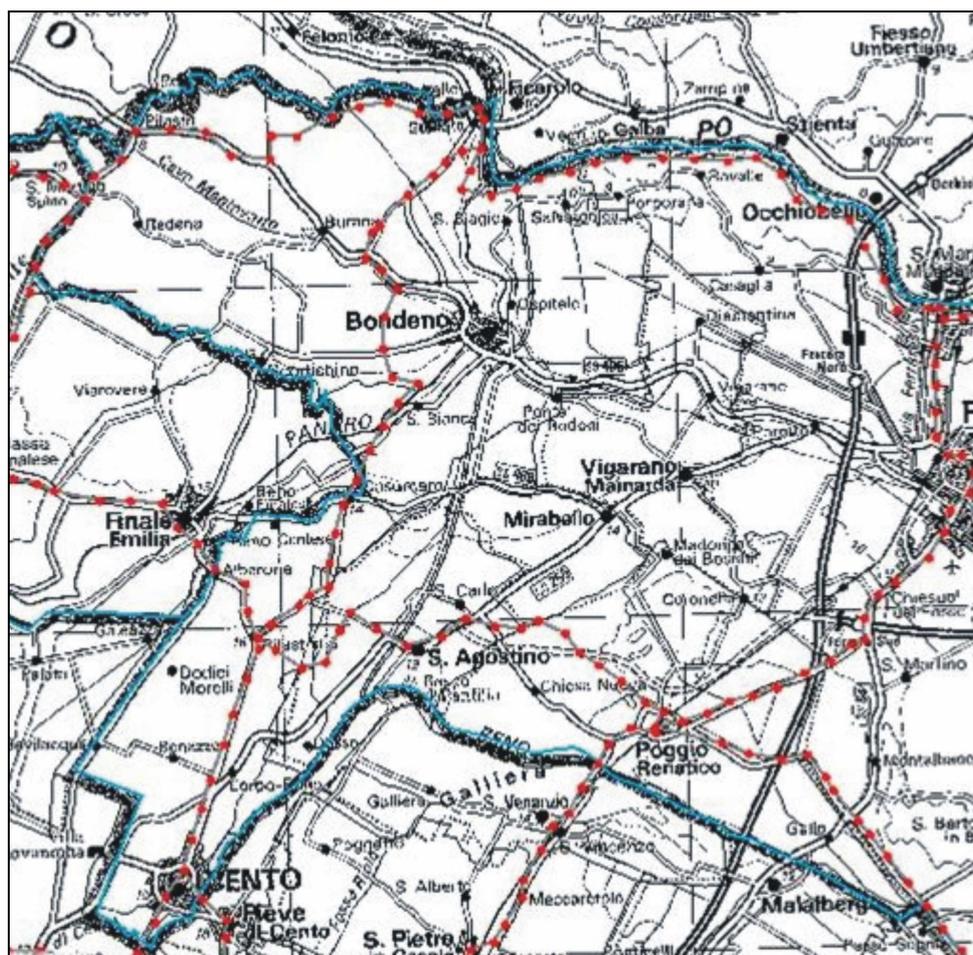


Fig. 3.2: Caposaldi ARPA Emilia-Romagna sul territorio dell'Alto Ferrarese.

Per quanto riguarda i dati IGMI essi sono riferibili solo alla porzione più orientale del territorio dell'Alto Ferrarese, mentre la rete ARPA è costituita da 184 caposaldi ben distribuiti sull'intero territorio in esame (126 al suo interno e 58 nelle immediate vicinanze).

A partire dal 2005 il monitoraggio dell'ARPA Emilia-Romagna ha inoltre beneficiato, per la prima volta, di una tecnica di misura particolarmente innovativa, l'Interferometria satellitare tipo SAR (http://www.arpa.emr.it/ingamb/rr_subsidenza.htm), che si basa su un'analisi delle variazioni di quota distribuite su tutta la superficie del territorio di pianura (Bitelli et al., 2005). Purtroppo ad oggi i risultati definitivi di tali studi non sono ancora stati pubblicati.

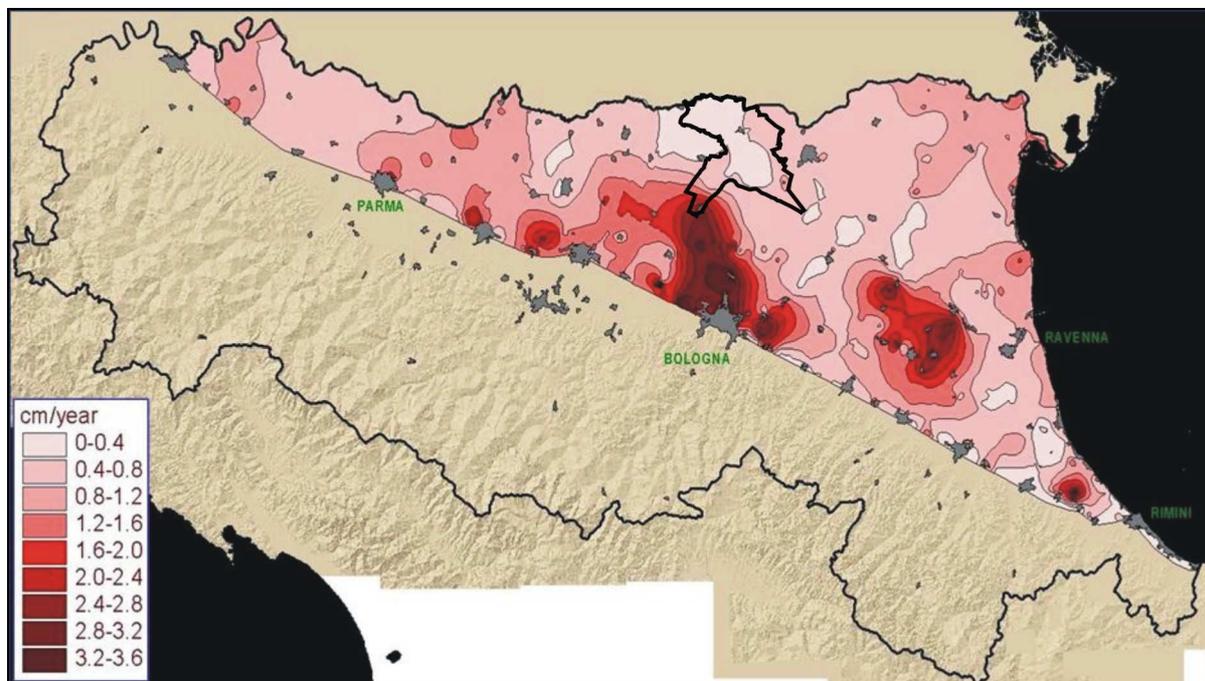


Fig. 3.3: Carta delle curve di uguale velocità di abbassamento del suolo nel periodo 1970/1999 (da ARPA Emilia-Romagna).

Un cospicuo lavoro di omogeneizzazione dei dati di subsidenza disponibili (Bitelli et al., 2000) ha permesso di elaborare una carta a curve di ugual velocità di abbassamento del suolo (isocinetiche) che mette in luce le aree più critiche e le relazioni con i principali ambienti geologici della pianura (Fig. 3.3 da ARPA Emilia-Romagna), ovvero:

- Le conoidi alluvionali allo sbocco delle valli appenniniche. Fra queste la conoide del Fiume Reno, specie in prossimità della parte meridionale del comune di Bologna, registra il preoccupante record di valori di subsidenza maggiori ai 3 cm/anno negli ultimi decenni.

- La pianura deltizia del Po e la costa emiliano romagnola, dove i tassi di subsidenza arrivano a 0.8-1.6 cm/anno. I numerosi studi eseguiti negli ultimi decenni sulla subsidenza in Pianura Padana hanno consentito di capire che, in questa zona, valori di subsidenza così elevati sono certamente da attribuire al massiccio prelievo di fluidi dal sottosuolo che è stato protratto in tutto il secondo dopoguerra (Carminati et al., 2006).

Questo documento, rappresenta allo stato attuale il più aggiornato modello descrittivo del fenomeno della subsidenza per il territorio di pianura della Emilia-Romagna per il periodo 1970/1999. Dall'analisi di questo gran numero di dati e dal confronto tra la carta delle isocinetiche elaborata da ARPA e le precedenti cartografie (non rappresentate) è inoltre possibile sviluppare delle considerazioni sull'evoluzione generale del fenomeno e formulare delle interpretazioni dei movimenti per individuarne le cause principali.

Dall'inizio del secolo al secondo dopoguerra, gli abbassamenti registrati risultano di scarsa entità. Fino agli anni '70, le isocinetiche mettono in evidenza un sensibile aumento delle velocità di subsidenza dovuto con ogni probabilità alla forte depressione della superficie piezometrica. Nel confronto tra le livellazioni degli anni settanta e le successive, fino al 1990 è rilevabile un ulteriore aumento delle velocità di abbassamento con valori di oltre 1.5 cm/anno (lungo la Linea 6 Bologna-Ferrara). Il confronto tra le livellazioni degli anni 86-90 e le successive, fino al 1999 segnala un generale rallentamento del fenomeno.

I movimenti registrati nella prima metà del XX secolo appaiono attribuibili, oltre che alla subsidenza naturale, ad abbassamenti della superficie freatica collegati agli ultimi interventi di bonifica o di miglioramento di condizioni di scolo delle acque superficiali. I maggiori movimenti visti per i decenni successivi appaiono invece soprattutto legati ad abbassamenti delle superfici piezometriche, legati ad eccessivi sfruttamenti di acquiferi confinati. Le ultime livellazioni esaminate (specie quelle tra 1990 e il 1999) segnalano ancora abbassamenti sensibili in varie zone, probabilmente riconducibili sempre ad estrazioni d'acqua, ma in generale il fenomeno risulta in attenuazione; tale attenuazione è certamente connessa alla chiusura di molti impianti industriali ed alla regolamentazione del prelievo dalle falde profonde. I valori di abbassamento risultano tuttavia ben più elevati di quelli attribuibili alla subsidenza naturale, anche in zone dove non risultano essere praticate (o essere state praticate) né estrazioni d'acqua né d'idrocarburi, e possono essere considerati ormai irrilevanti anche gli abbassamenti connessi alle bonifiche. Ciò potrebbe essere dovuto alle sollecitazioni (carichi e vibrazioni) determinate dal traffico sulle strade presso le quali sono posizionati i caposaldi o al controllo artificiale della falda freatica nelle campagne, con forti immissioni di acque per irrigare e forti drenaggi forzati.

3.4 La situazione nell'Alto Ferrarese

L'Alto Ferrarese è per la gran parte interessato da subsidenza di scarsa entità se si eccettuano l'area della Sammartina ed il Comune di Cento. Infatti, nell'area della Sammartina sono rilevabili notevoli velocità di abbassamento (fin oltre 1.3 cm/anno nel periodo 1953-70 e fino a 1.5 cm/anno nel periodo 1970-90). L'ultimo confronto segnala invece un generale rallentamento del fenomeno (abbassamenti intorno a 1 cm/anno). Si suppone che l'entità del fenomeno sia essenzialmente legata agli abbassamenti indotti nella falda freatica per fini di bonifica (confronta § 3.2).

Diversa è invece la causa dell'abbassamento sul territorio del comune di Cento, con una punta di circa 2.8 cm/anno al confine con la provincia di Bologna, riconducibile alla forte subsidenza che interessa la conoide alluvionale del Reno.

Vediamo comunque in dettaglio la situazione per ciascuno dei sei comuni dell'Alto Ferrarese (Fig. 3.4):

- Mirabello: il valore di abbassamento, su tutto il territorio comunale, è inferiore a 0.4 cm/anno;
- Vigarano Mainarda: nella porzione più meridionale del territorio comunale, al confine con il Comune di Mirabello, i valori di abbassamento sono inferiori a 0.4 cm/anno; mentre su tutto il rimanente territorio i gli abbassamenti sono compresi tra 0.4 e 0.8 cm/anno;
- Bondeno: gli abbassamenti sono inferiori a 0.4 cm/anno eccettuata la porzione orientale compresa tra il paleovalve del Poazzo ed il limite Est del territorio comunale (confine con i Comuni di Vigarano Mainarda e Ferrara) dove i valori sono di circa 0.6 cm/anno;
- Sant'Agostino: gli abbassamenti hanno valori inferiori a 0.4 cm/anno nella metà settentrionale del territorio e aumentano spostandosi verso Sud, fino a raggiungere valori prossimi a 1 cm/anno al confine con il Comune di Cento;
- Poggio Renatico: gli abbassamenti sono inferiori a 0.4 cm/anno ad Ovest, compresi tra 0.4 e 0.8 cm/anno ad Est con un picco nella Sammartina pari a circa 1 cm/anno;
- Cento: si registra un picco di quasi 3 cm/anno all'estremità Sud, gli abbassamenti vanno via via attenuandosi verso Nord fino a raggiungere valori di circa 0.5 cm/anno.

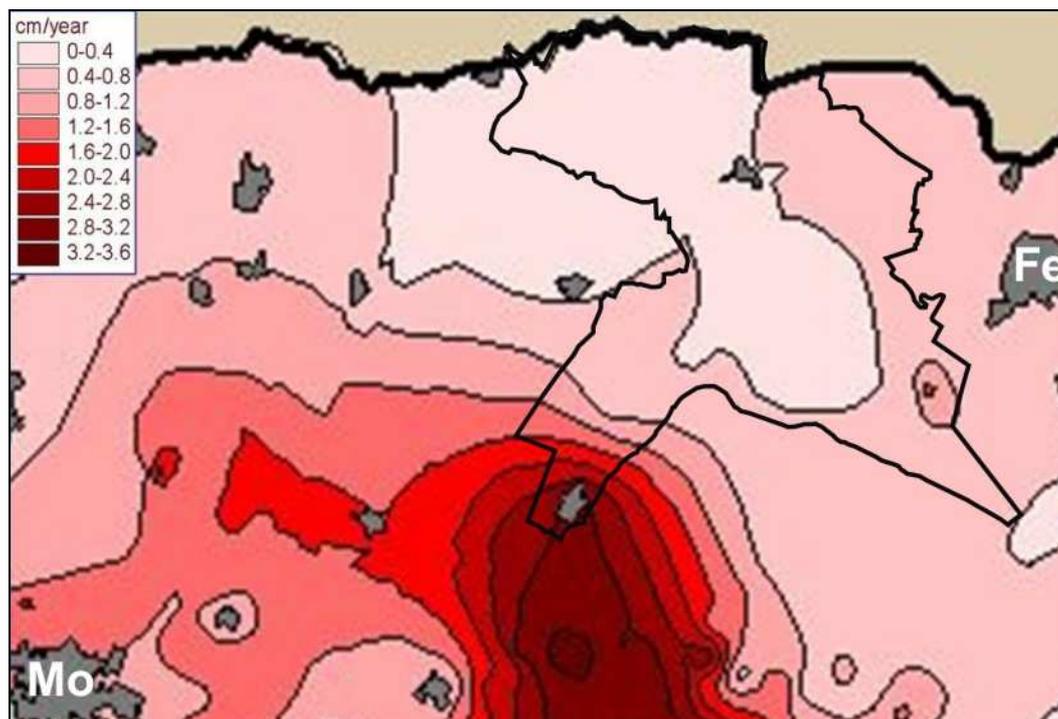


Fig. 3.4: Particolare per la zona dell'Alto Ferrarese della Carta delle curve di uguale velocità di abbassamento del suolo (cm/anno) nel periodo 1970/1999 (da ARPA Emilia-Romagna);

Nell'elenco sopra riportato, i comuni dell'Alto Ferrarese sono ordinati secondo un grado crescente d'incidenza degli abbassamenti dovuti a fenomeni di subsidenza; va però sottolineato che tale ordinamento andrebbe invertito se si prendessero in considerazione il numero di punti di controllo ricadenti in ciascuno dei sei comuni. Vale a dire che i problemi maggiori si evidenziano proprio laddove la rete dei punti di misura è più fitta (es: Cento) mentre diminuiscono al diminuire dei dati disponibili (es: Mirabello e Vigarano Mainarda non hanno nessun caposaldo per livellazioni di precisione all'interno del loro territorio comunale). Certamente la rete di controllo nel tempo è stata affittata proprio per meglio monitorare quelle aree che storicamente mostravano maggiori problemi di subsidenza, ma ciò non deve lasciar pensare che le aree a minore copertura di punti di controllo siano scevre da problemi di subsidenza. Specie perché, nelle zone considerate, la subsidenza è per lo più di natura artificiale e quindi il tasso di abbassamento può subire variazioni repentine sia nello spazio che nel tempo. Con ciò si vuol semplicemente suggerire di non sottovalutare il fenomeno della subsidenza anche in quelle aree che ad oggi sembrano meno interessate dagli abbassamenti e di intensificare, laddove possibile, i punti di monitoraggio nei comuni che sono meno coperti.

In generale, non essendo possibile prevedere ulteriori sensibili attenuazioni del fenomeno per il futuro, appare indispensabile controllare e limitare le attività che potrebbero produrre ulteriori abbassamenti, quali eccessive estrazioni d'acqua dal sottosuolo, forti e prolungate modificazioni del livello della falda freatica, estrazioni di altri fluidi da falda da mediamente a molto profonda e dispersione di liquidi inquinanti. Ovviamente, quanto sin qui detto vale in particolar modo per il Comune di Cento e per l'area della Sammartina nel Comune di Poggio Renatico che risultano essere le zone più problematiche dal punto di vista del fenomeno della subsidenza nel territorio dell'Alto Ferrarese.

4 BIBLIOGRAFIA PARTE PRIMA

ARCA S., BERETTA G.P. 1985. Prima sintesi geodetico-geologica sui movimenti verticali del suolo nell'Italia Settentrionale (1897- 1957). Bollettino di Geodesia e Scienze Affini, 44, 2, pp. 125-156.

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., GATTI M., RUSSO P. 2000. Subsidence in the eastern Po Plain (Italy). Land subsidence, proceedings of the 6th Intern. Symposium on Land subsidence, Ravenna, 24-29 Sept. 2000, pp. 193-204.

BONDESAN M., MINARELLI A., RUSSO P. 1986. Studio dei movimenti verticali del suolo nella provincia di Ferrara. In Francani V. (a cura di) Studi idrogeologici sulla Pianura Padana, 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.

CNR 1992. Structural model of Italy. Prog. Fin. Geodinamica, Sottoprogramma. Modello strutturale tridimensionale.

ERSA 1978. Subsidenza nel territorio del basso ferrarese. Atti Conv. Problemi della subsidenza nella politica e difesa del Territorio, Comune di Pisa, Com. di Ravenna, Reg. Emilia Romagna, Reg. Toscana, Pisa, 7, pp. 58-60.

MONTORI S. 1983. Effetti della subsidenza sui territori di bonifica. L'Agricoltore Ferrarese, 3, Ferrara, pp. 87-99.

MURST 1997. Carta altimetrica e dei movimenti verticali del suolo. Elaborato tematico della Carta Geomorfologica della Pianura Padana alla scala 1:250.000, coord. 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 Prog. Fin. Geodinamica, sottoprogramma. Modello Strutturale, 13, 7, Roma, pp. 1-11.

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.

ARPA, - 2003. Studio della subsidenza antropica generata dall'estrazione di acqua di falda lungo la costiera emiliano romagnola. Rapporto tecnico, 269pp.

CARMINATI E., DOGLIOSI C. E SCROCCA D. - 2006. I fragili equilibri della Pianura Padana. Le Scienze, 87-94.

BITELLI G., MONSIGNORE F. E UNGENDOLI M. - 2000. Levelling and GPS networks to monitor ground subsidence in the southern Po valley. Journal of Geodynamics, 30, 355-369.

BITELLI G., MONSIGNORE F. E VITTUARI L. - 2005. Il monitoraggio della subsidenza in Emilia-Romagna. Aquifer Vulnerability and Risk, 4th Congress on the Protection and Management of Groundwater, Reggio di Colorno PR, 21-23 Settembre 2005, 1-11.

GAMBOLATI G., RICCI G., BERTONI W., BRIGHENTI G. E VUILLERMIN E. - 1991. Mathematical simulation of the subsidence of Ravenna. Water Resources Research, 27, 2899-2918.

GIUDICI, PONZINI & VASSENA - 2004. Realizzazione di un modello preliminare di flusso delle acque sotterranee nella conoide alluvionale del Fiume Reno. Relazione sulla ricerca svolta nell'ambito della convenzione tra l'Università degli Studi di Milano e la Regione Emilia-Romagna. Servizio Geologico Sismico e dei Suoli, Regione Emilia-Romagna, 84pp.

REGIONE EMILIA-ROMAGNA, AUTORITÀ DI BACINO DEL RENO & ARPA - 2005. Studio della conoide alluvionale del fiume Reno per la realizzazione di un modello idrogeologico per la gestione sostenibile delle risorse idriche. Relazione finale, Assessorato Ambiente e Sviluppo Sostenibile, Regione Emilia-Romagna, 126pp.

PARTE SECONDA

ASSETTO GEOLITOLOGICO DELL'ALTO FERRARESE

5 INQUADRAMENTO GEOLOGICO-STRUTTURALE

5.1 Evoluzione geologica regionale

5.2 Tettonica

5.2.1 Strutture generali

5.2.2 Strutture locali: la Dorsale Ferrarese

6 GEOTERMIA

7 INQUADRAMENTO STRATIGRAFICO

7.1 La successione stratigrafica

7.1.1 L'unità profonda

7.1.2 L'unità superiore

7.2 Successione sedimentaria superficiale

7.3 Caratteristiche litologiche dei depositi superficiali

8 CARATTERISTICHE GEOMECCANICHE DEI TERRENI

9 BIBLIOGRAFIA PARTE SECONDA

5 INQUADRAMENTO GEOLOGICO-STRUTTURALE

L'esame della tettonica profonda è di grande interesse per verificare fino a che punto l'assetto geomorfologico della superficie è funzione della tettonica. C'è, infatti, una stretta corrispondenza fra l'assetto strutturale e la morfologia di superficie, tale da rendere percepibili movimenti recentissimi della pianura. 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 (Cap. 3);
- 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 (Cap. 20).

Per comprendere la distribuzione superficiale attuale dei sedimenti è necessario ricostruire, anche se evidentemente in modo sintetico, quella che è stata la storia geologica di questa parte di territorio. Per fare questo sono stati consultati numerosi lavori, in modo particolare quelli di Bondesan, che compaiono in bibliografia e dei quali il lavoro di Ferrari (1996) rappresenta un'ottima sintesi.

5.1 Evoluzione geologica regionale

Prima di affrontare la descrizione nel dettaglio dell'area oggetto di studio risulta opportuno descrivere l'evoluzione geologica della Pianura Padana, l'unità di rango superiore che comprende il territorio analizzato.

Questo ampio bacino sedimentario, la cui genesi ha avuto inizio nel Terziario (65 milioni di anni fa), rappresenta un'avanfossa per entrambe le catene montuose dalle quali esso è delimitato: le Alpi Meridionali (o Sudalpino) a Nord ed il margine settentrionale degli Appennini a Sud. Per questo motivo la sua evoluzione strutturale è connessa con la dinamica degli eventi che hanno interessato le placche litosferiche Africana ed Eurasiatica, ed hanno prodotto una tettonica compressiva con accorciamento crostale per convergenza e collisione.

Questo tipo di tettonica è responsabile della formazione di gruppi di pieghe e di un fitto sistema di faglie con direzione NNW-SSE, WNW-ESE e N-S, con conseguente suddivisione dell'area padana in settori dislocati da paleofaglie e con evoluzione differenziata (Fig. 5.1 e 5.2 da RER e CNR 2002).

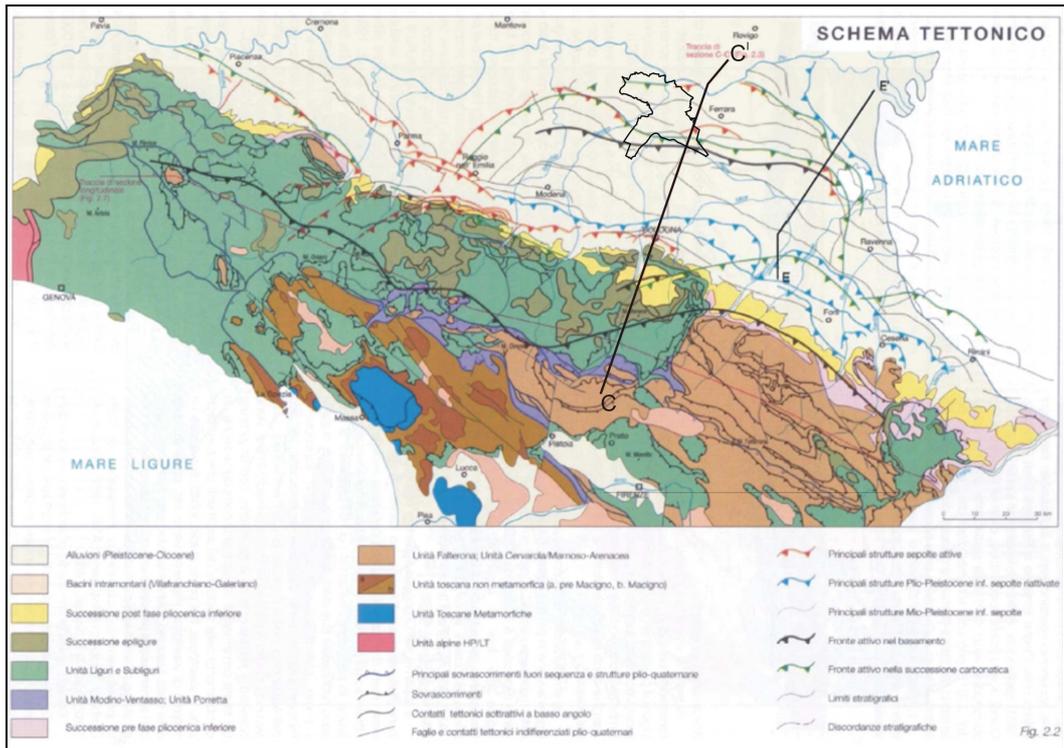


Fig. 5.1: Schema Tettonico tratto dalla "Carta Geologico-Strutturale dell'Appennino Emiliano-Romagnolo" (RER e CNR 2002)

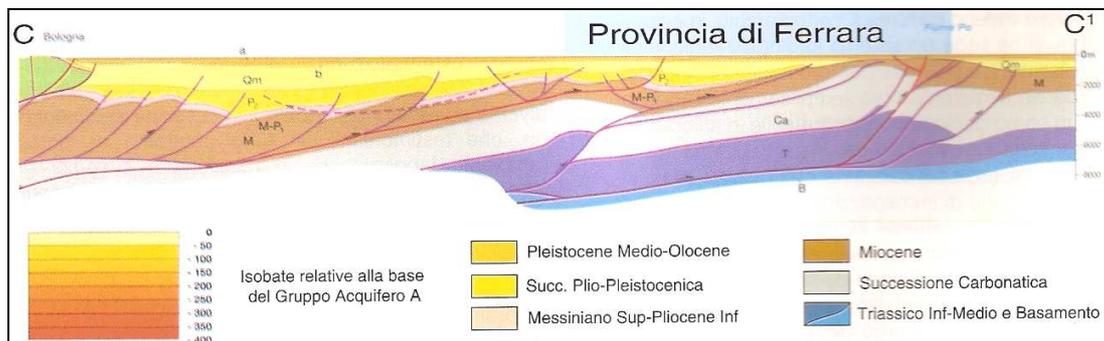


Fig. 5.2: Sezione geologica interpretativa lungo la sezione C-C' riportata in Fig. 5.1

In particolare, i terreni neogenici sono stati interessati dai vari piegamenti in due fasi distinte: una tra Miocene e Pliocene e l'altra prima del Pliocene Medio. La prima di queste fasi ha influito specialmente nell'area occidentale piacentina-cremonese, mentre la seconda ha maggiormente operato nell'area emiliana attorno a Ferrara e Modena, dove la discordanza tra i terreni del Miocene e quelli del Pliocene inf. è attenuata, mentre si osserva un più accentuato piegamento ed una maggiore erosione nei termini del Pliocene inferiore (Vuillermin, Bertoni 1978).

Le fasi tettoniche succedutesi hanno quindi portato alla formazione di lineamenti paleogeografici variabili in successione spazio-temporale e quindi all'instaurarsi in sequenza alterna di ambienti deposizionali marini, costieri, deltizi e lagunari in relazione a locali processi di sollevamento e di subsidenza. Nell'ampia conca padana si sono succedute alternanze di emersioni ed invasioni marine, totali o parziali dell'area, con erosione più marcata o non deposizione nelle zone di alto strutturale e con deposizione di materiali detritici derivanti dallo smantellamento delle catene nelle zone di basso strutturale (Pieri & Groppi 1981 e CNR 1992).

5.2 Tettonica

5.2.1 Strutture generali

L'evoluzione geologica della pianura padana sin qui descritta, ha lasciato le sue tracce nella struttura tettonica ancor oggi riconoscibile in profondità, sotto la coltre dei sedimenti alluvionali. In particolare si possono distinguere:

- gruppi di pieghe ad andamento NW-SE, interessati da frequenti ondulazioni assiali asimmetriche, con vergenza verso N e con un'immersione generale verso SE;
- un fitto sistema di faglie con direzione NNW-SSE, WNW-ESE e N-S, con la suddivisione dell'area padana in settori dislocati da paleofaglie che hanno determinato situazioni di bacino e di alto locale, caratterizzati da una diversa evoluzione.

Dall'osservazione della carta tettonica (Fig. 5.3) si evince la contrapposizione tra la grande e relativamente tranquilla monoclinale pedealpina e le pieghe appenniniche sepolte riconducibili ai tre archi principali: "Arco del Monferrato" che si estende da Torino a Tortona, "Arco delle pieghe emiliane" che si estende

dall'Appennino Vogherese a San Colombano e a Sud sino alla linea del Sillaro e "Arco delle pieghe ferraresi e romagnole" ubicate nella parte Nord-Est dell'Appennino emiliano orientale.

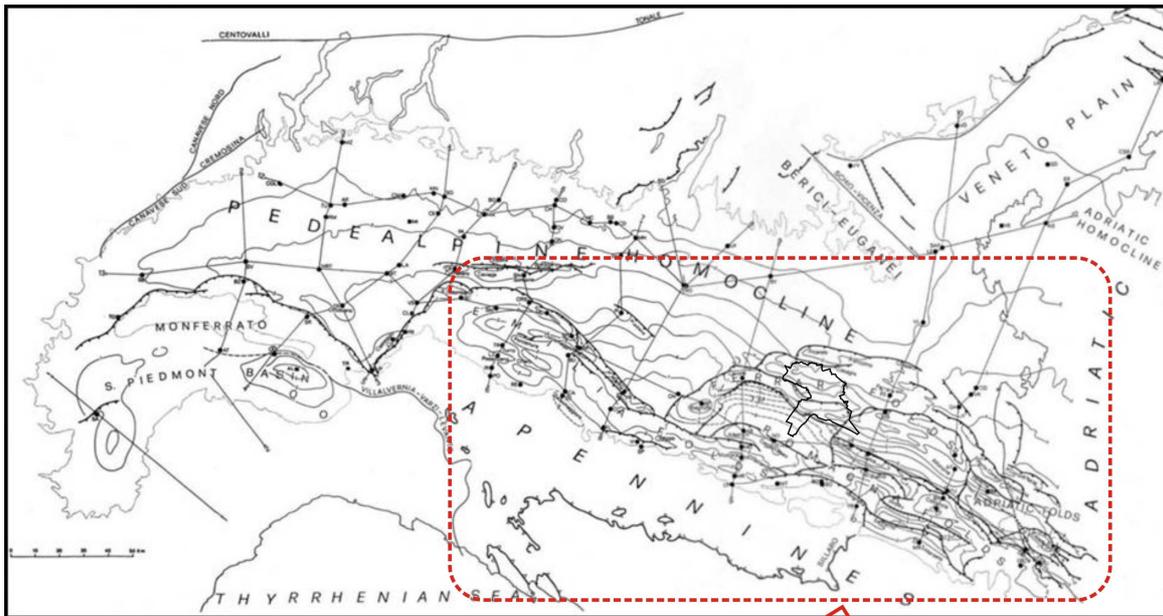
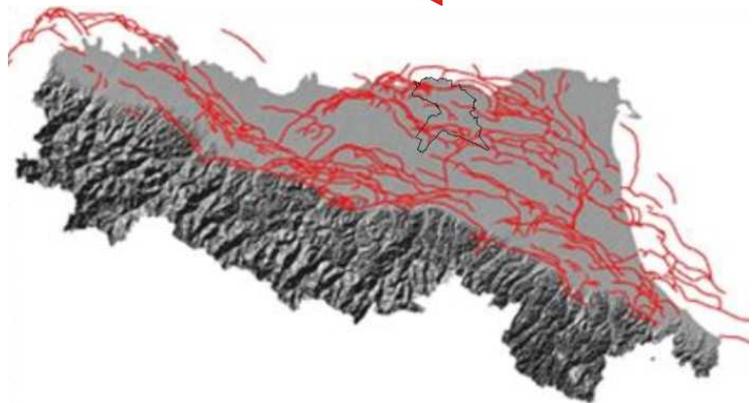


Fig. 5.3 in alto: Schema tettonico della Pianura Padana (da Pieri e Groppi, 1981);

a destra: ricostruzione di dettaglio delle principali strutture tettoniche (linee in rosso) che costituiscono il proseguimento della catena appenninica al di sotto dei sedimenti della Pianura Padana (da RER 2000)



Concentrando ora l'attenzione sull'arco ferrarese-romagnolo, che è l'elemento strutturale più esterno dell'Appennino settentrionale (Fig. 5.4), osserviamo che esso è delimitato esternamente da un gruppo di faglie inverse e da sovrascorrimenti che lo separano dalla monoclinale pedealpina così come dall'asse Berici-Euganei e dalla monoclinale Adriatica (Pieri e Groppi 1981).

Nell'ambito dell'arco ferrarese-romagnolo si possono distinguere tre gruppi minori di pieghe: ferraresi, romagnole, adriatiche. Le pieghe ferraresi sono le più esterne, con nucleo mesozoico molto sollevato e tettonizzato; ad esse si affianca, nella parte a mare, l'arco delle pieghe adriatiche che si accavallano sulla monoclinale adriatica e sono caratterizzate da forte disarmonia tra clastici e carbonati sottostanti. Nella parte interna (a Sud), l'arco delle pieghe ferraresi ed adriatiche è a contatto con le pieghe romagnole che presentano una forte disarmonia strutturale fra le formazioni terziarie piegate e i sottostanti calcari mesozoici relativamente meno tettonizzati.

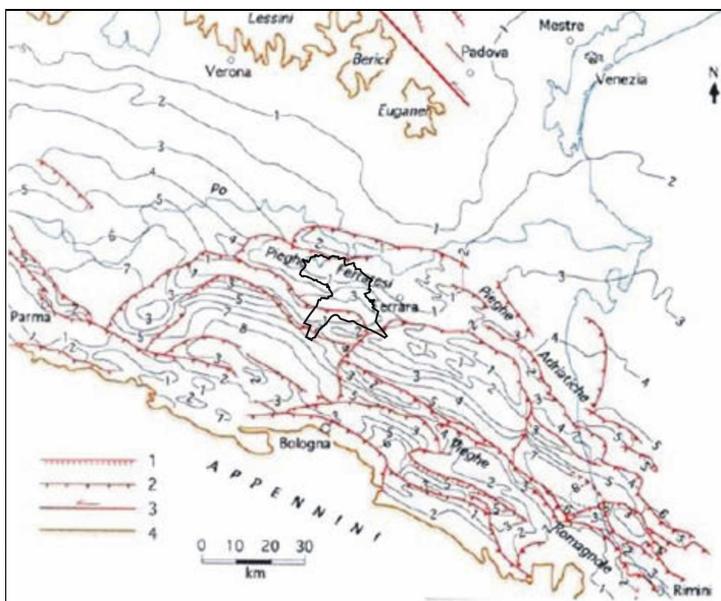
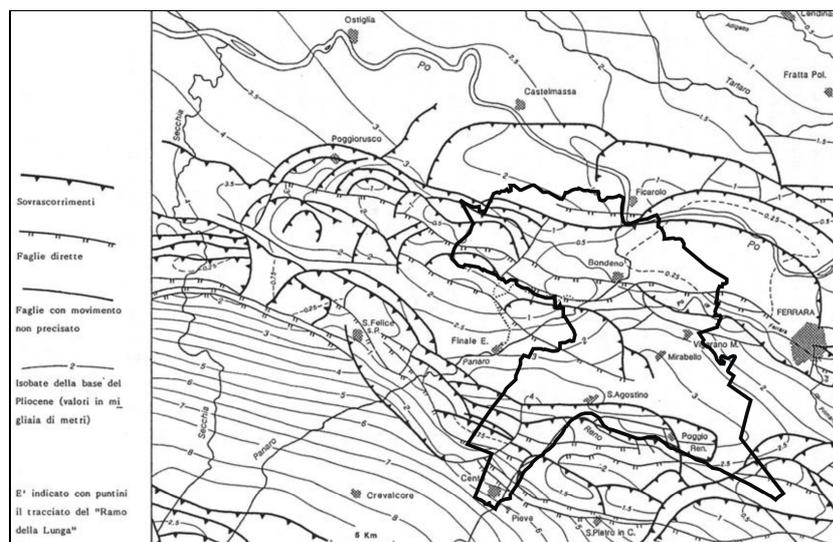


Fig. 5.4: Dettaglio dello schema tettonico della Pianura Padana orientale, con le Pieghe Ferraresi dell'Appennino sepolto (da Pieri e Groppi 1981; CNR 1992);

LEGENDA

- 1) faglie dirette
- 2) sovrascorrimenti e faglie inverse
- 3) grandi faglie verticali
- 4) limite tra la Pianura Padana ed i rilievi alpini ed appenninici

Fig 5.5: Dettaglio della Carta Strutturale della base del Pliocene per l'area studiata.



Tutte le strutture sopraindicate sono delimitate esternamente da fasci di faglie inverse, testimoni di diversi fronti compressivi in avanzamento; al contrario, nelle fasce retrostanti ai fronti compressivi, si rilevano sistemi di faglie dirette ad indicare un carattere distensivo (Fig. 5.5). Gran parte delle strutture compressive descritte si sono determinate già prima del Pliocene, come conseguenza di spinte tangenziali, mentre in seguito sono stati prevalenti i movimenti verticali, soprattutto di subsidenza (Cap. 3).

5.2.2 Strutture locali: la Dorsale Ferrarese

L'unità dominante delle pieghe ferraresi (C.N.R., 1986) è senza dubbio la "Dorsale Ferrarese", costituita da pieghe, pieghe-faglie e faglie molto inclinate ad orientamento WNW-ESE, vergenti verso NNE, la quale già nel Pliocene aveva funzione di alto strutturale (Fig. 5.6). La Dorsale Ferrarese è localizzata nell'area centro-occidentale della provincia ferrarese tra Ferrara e le Valli di Comacchio; le sue culminazioni principali sono costituite dalle anticlinali di Ficarolo, di Poggio Rusco, di Mirandola e di Novi-Correggio.

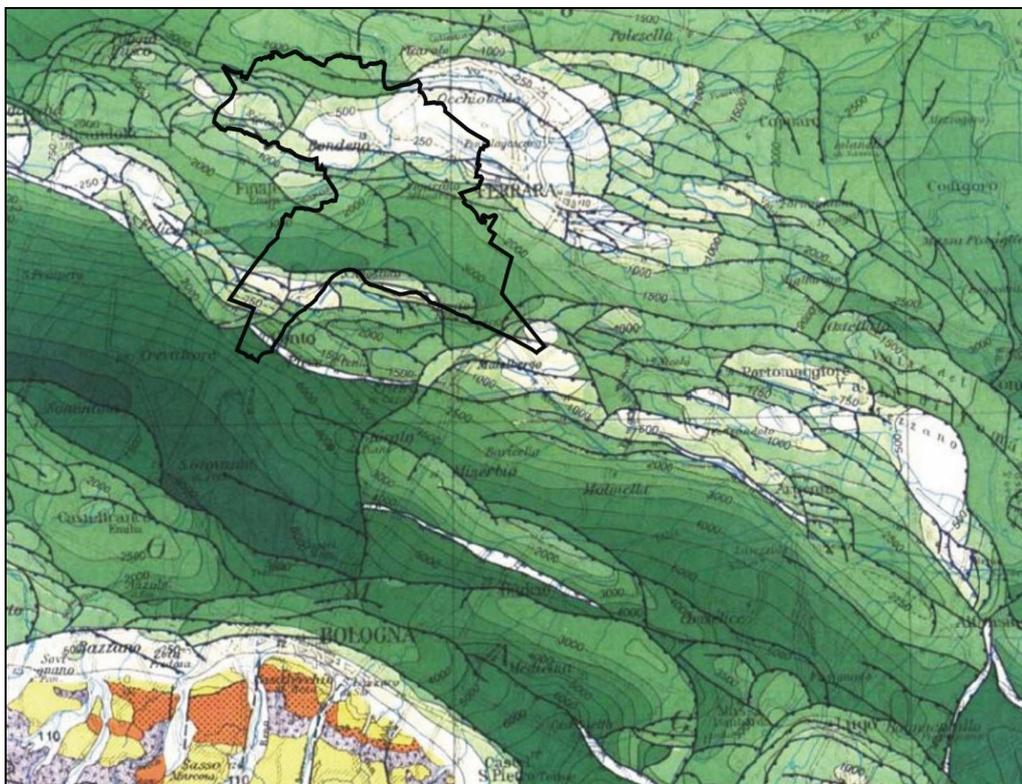


Fig. 5.6: Stralcio della Carta Strutturale del Nord Italia (CNR 1990); le isobate rappresentanti la base del Pliocene sono espresse in metri.

La peculiarità di questo sistema di pieghe è che costituiscono un alto strutturale del substrato calcareo Mesozoico, con riduzione o assenza dei sovrastanti sedimenti terziari, asportati dall'azione dei processi erosivi legati all'emersione dell'area durante il Pleistocene medio. Ai lati della Dorsale si sono impostate, invece, due zone a forte subsidenza: nella regione del delta a Nord e nel Ravennate a Sud; in particolare, a Sud della Dorsale s'individua il bacino Emiliano-Romagnolo dove la base del Pliocene si approfondisce rapidamente, così come a Nord verso la fossa Padano-Adriatica (Masè, 1983).

La struttura è disposta secondo la direzione WNW-ESE lungo una linea passante fra Bondeno e Poggio Rusco dove la profondità della base del Pliocene varia tra i 400 e i 600 m. Gli assi delle pieghe facenti parte di questo complesso hanno andamento circa W-E e si individuano faglie inverse con andamento preferenziale vergente verso Nord e perpendicolare agli assi delle pieghe stesse.

Analizzando le dislocazioni presenti si ha la riprova che l'area in esame sia stata interessata da tettonica compressiva in quanto si sono denotate faglie inverse nel fronte della piega a Nord-Est, e faglie dirette nel fianco opposto a Sud-Ovest, determinate da una fase di rilassamento successiva. Le dislocazioni verificate riguardano sia le formazioni preplioceniche che quelle plioceniche, mentre la copertura quaternaria risulta quasi imperturbata essendo scarsamente interessata dai movimenti tettonici.

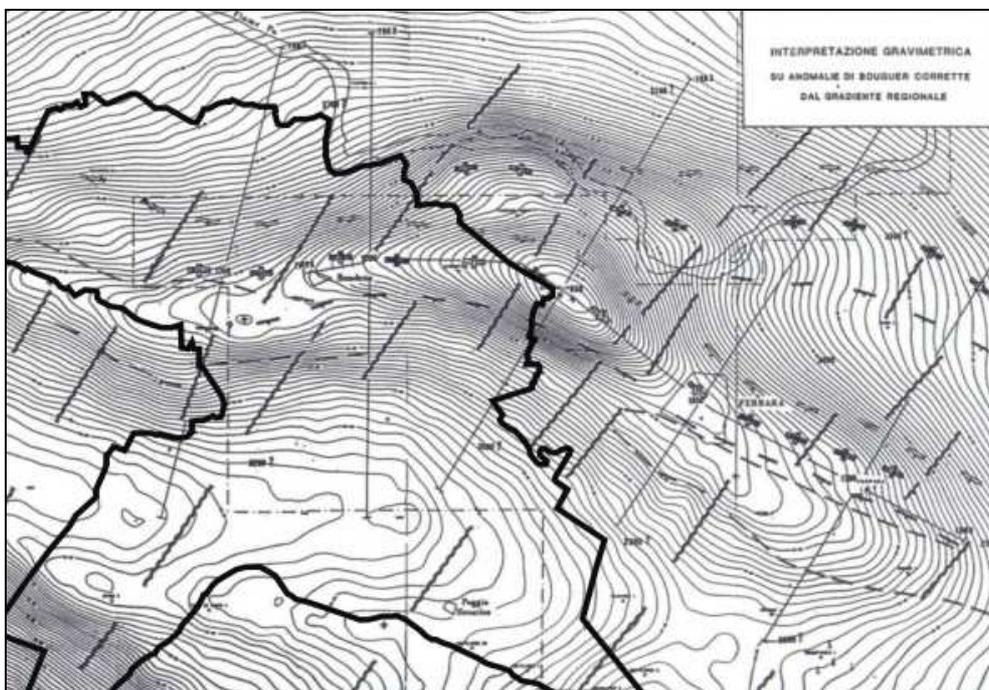


Fig. 5.7: Interpretazione gravimetrica della dorsale ferrarese

La caratterizzazione di questa importante unità tettonica è stata fatta sulla base dei dati restituiti dalla perforazione dei pozzi Casaglia 1, Casaglia 2 e Ferrara 1 e dai rilievi geofisici eseguiti dall'AGIP per la ricerca di idrocarburi; in particolar modo le indagini sono state condotte utilizzando i seguenti metodi geofisici: gravimetria (Fig. 5.7), sismica a riflessione e sismica a rifrazione; esse hanno portato, insieme all'osservazione dei dati emersi dai sondaggi, ad una ricostruzione molto attendibile della Dorsale Ferrarese (Fig. 5.8) che ha evidenziato l'appartenenza della Dorsale Ferrarese alla continuazione dell'Appennino Settentrionale.

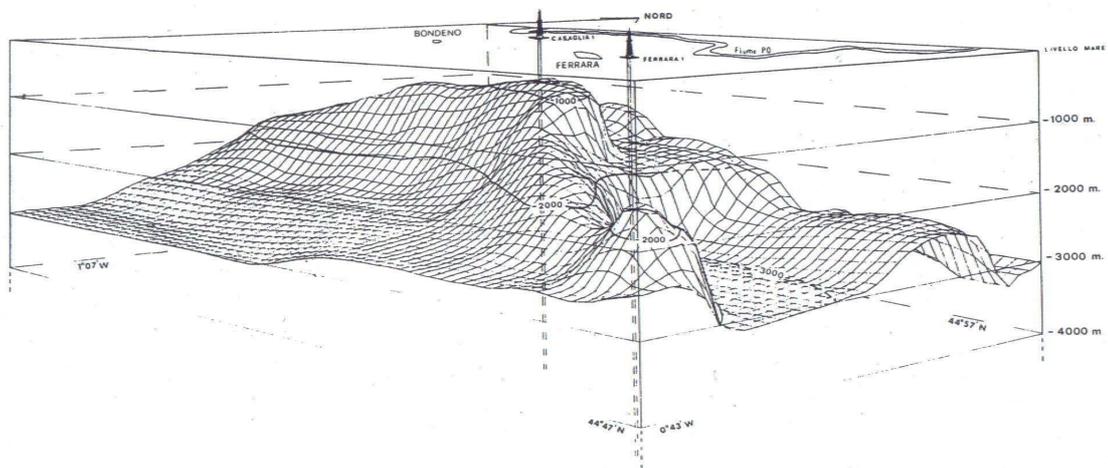


Fig. 5.8: Interpretazione geofisica della Dorsale Ferrarese; immagine tridimensionale della sua parte centrale.

6 GEOTERMIA

La necessità di un approvvigionamento sempre maggiore di energia ha determinato un veloce progresso tecnologico finalizzato allo sfruttamento delle risorse naturali che in passato erano considerate inadeguate e/o antieconomiche. Anche la geotermia ampiamente studiata prima negli anni trenta e quaranta per i sistemi ad alta entalpia, successivamente negli anni settanta ed ottanta per sistemi ad alta e medio alta entalpia, può oggi costituire argomento di nuovo interesse per i sistemi a bassa entalpia proprio alla luce di un possibile utilizzo per riscaldamento urbano ed per agricoltura.

La Regione Emilia-Romagna ha promosso uno studio geologico sul potenziale geotermico del territorio regionale già all'inizio degli anni '80 (RER & CNR, 1982). Una delle principali conclusioni di questo studio è che, data l'assenza di intrusioni magmatiche (plutoni) nel sottosuolo dell'Emilia-Romagna, le cause delle anomalie termiche positive (sorgenti termali in Appennino e anomalie termiche positive misurate in pozzi profondi della Pianura Padana) sono da ricercare nella struttura tettonica di questo settore di catena. Non dimentichiamo, infatti, che l'Appennino è una catena ancora in formazione e che il vero fronte non coincide con il limite morfologico collina - pianura, ma è localizzato in corrispondenza del Po, sepolto sotto i depositi quaternari padano-adriatici (Pieri & Groppi, 1981).

Le anomalie termiche positive in pianura, quasi tutte rilevate in pozzi localizzati al di sopra della dorsale sepolta nota come Pieghe Ferraresi (Pieri e Groppi, 1981; Agip, 1977) possono essere spiegate con una circolazione profonda che raggiunge la successione carbonatica la quale, grazie alla struttura tettonica positiva delle Pieghe Ferraresi, risale anche fino a poche centinaia di metri dalla superficie. Attualmente, l'energia geotermica è in corso di sfruttamento nella zona di Ferrara e a Bagno di Romagna (FC). Poiché le condizioni geologiche che caratterizzano il sottosuolo di queste zone esistono anche in altre aree della regione, la prospettive di trovare altri campi geotermici sono reali.

Studi geologici recenti (1983-2006), realizzati soprattutto nell'ambito del progetto regionale Carta Geologica dell'Appennino Emiliano-Romagnolo 1:10.000 e del progetto CARG 1:50.000 e per la ricerca di risorse idriche e di idrocarburi, hanno reso disponibile una notevole mole di nuove informazioni sul sottosuolo di tutto il territorio regionale. E' stato così possibile mettere a confronto i principali elementi tettonici della regione, sia unità che strutture, e la localizzazione di acque calde (sorgenti calde dell'Appennino e pozzi profondi con anomalie termiche positive nelle zone di pianura).

Le zone di pianura con acque profonde più calde sono soprattutto localizzate al di sopra dell'intero arco della dorsale ferrarese, tra Reggio Emilia e Ravenna, lungo la costa tra Cervia (RA) e Rimini, cioè al di sopra dell'estremità settentrionale delle Pieghe Adriatiche, e tra Reggio Emilia e Fiorenzuola d'Arda (PC), al di sopra della parte sud-orientale delle Pieghe Emiliane (Fig. 6.1). Anche queste strutture sepolte, in particolare nei tratti indicati, mostrano evidenze di attività recente (Burrato et al., 2003; Vannoli et al., 2004; Boccaletti et al., 2004; v. anche DISS 3.0, INGV, 2006).

I dati sopra descritti indicano che le aree d'interesse sono localizzate soprattutto in corrispondenza di "alti strutturali" riconoscibili anche analizzando la distribuzione delle anomalie gravimetriche positive (Fig. 5.7). E' comunque da considerare anche la possibilità di sfruttamento di rocce calde secche, cioè senza circolazione profonda di particolare entità, in cui pompare acqua fredda e recuperarla riscaldata dopo la circolazione, attraverso opportuni pozzi, nelle rocce calde (Antignano e D'Offizi, 2006).

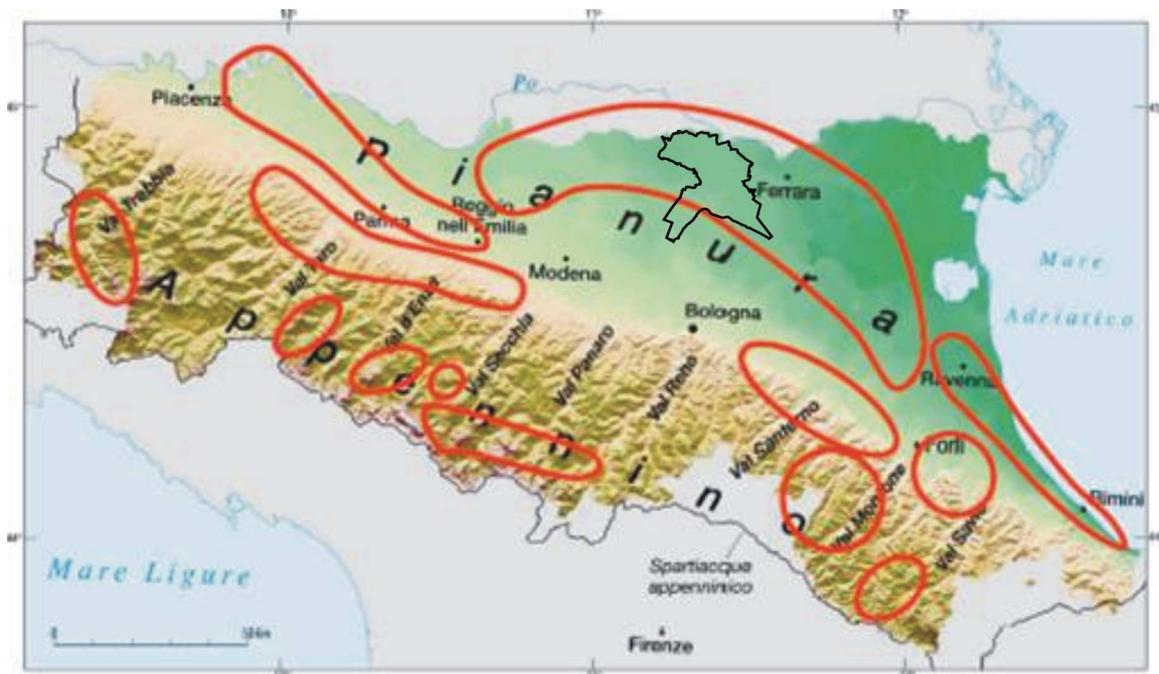


Fig. 6.1: Aree d'interesse per la ricerca di potenziali serbatoi geotermici a bassa entalpia in Emilia Romagna

Viste le notevoli potenzialità delle aree indicate ed il considerevole risparmio energetico che deriverebbe dallo sfruttamento su larga scala dell'energia geotermica, il Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna si sta impegnando in un Progetto per la valutazione del potenziale geotermico in Emilia-Romagna che prevede le seguenti attività:

- Ricerche storiche: al fine di valutarne la continuità temporale delle fenomenologie per le località di interesse.
- Valutazione geochimica e stratigrafico/strutturale complessiva delle aree di interesse: al fine di definire un modello geochimico che guidi la fase di prospezione successiva.
- Individuazione di aree test in cui realizzare studi pilota

Dopo l'analisi preliminare per la valutazione del potenziale geotermico in Emilia Romagna ed in base alle anomalie geotermiche riscontrate nei pozzi AGIP verranno individuate zone potenzialmente interessanti e non ancora indagate in cui realizzare studi pilota di approfondimento per la reale valutazione del potenziale geotermico. La scelta delle aree test verrà concordata con gli enti che parteciperanno agli studi sulla base degli interessi e delle risorse disponibili; comunque, per contenere le risorse (costi e tempi) necessarie per la verifica del potenziale geotermico si ritiene opportuno focalizzare le ricerche in aree test significative e rappresentative dei principali ambiti del territorio regionale (pianura, margine appenninico-padano, catena appenninica).

7 INQUADRAMENTO STRATIGRAFICO

Per completezza verranno di seguito descritte sia la successione stratigrafica profonda che la successione sedimentaria superficiale presenti nell'area d'indagine. La prima (le cui Unità non affiorano in superficie), non ricopre un ruolo importante dal punto di vista applicativo per la pianificazione territoriale, fatta eccezione per un eventuale sfruttamento di energia geotermica di cui si è già ampiamente parlato nel capitolo precedente. La seconda, al contrario, è un prezioso strumento nello studio delle pianure alluvionali in quanto può permettere di individuare antichi alvei fluviali e zone palustri grazie ai sedimenti che essi hanno abbandonato lungo il loro antico percorso. Infatti, frequentemente aree a litologia relativamente grossolana (sabbia e ghiaie), legate ad ambienti sedimentari ad energia abbastanza elevata, indicano ambienti d'alveo e formano nella pianura fasce divaganti coincidenti spesso con zone di alto morfologico; mentre le zone ad alto contenuto d'argilla definiscono verosimilmente aree di bassa energia, a sedimentazione lenta che ben corrispondono ad ambienti palustri.

7.1 La successione stratigrafia

La complessa storia geologica della Pianura Padana, affiancata all'azione della rete idrografica, di trasporto e sedimentazione dei materiali provenienti dall'erosione delle terre emerse, hanno portato ad avere spessori di sedimenti che vanno da circa 200 m in corrispondenza dell'alto strutturale della Dorsale Ferrarese, a oltre 3000 m nella zona corrispondente al litorale attuale. L'assenza di affioramenti di terreni prequaternari nella zona studiata, rende indispensabile, per la ricostruzione della serie stratigrafica, l'ausilio delle stratigrafie dei pozzi per idrocarburi perforati in zona durante gli ultimi 50-60 anni da AGIP MINERARIA. Secondo Selli (1976) si possono distinguere due unità strutturali principali: Unità Profonda antecedente a ~3.55 milioni di anni fa e costituita da sedimenti del Messiniano e Pliocene inferiore e Unità Superiore posteriore a ~3.55 milioni di anni fa e costituita da sedimenti del Pliocene medio-superiore e del Quaternario in concomitanza tra loro (Fig. 7.1).

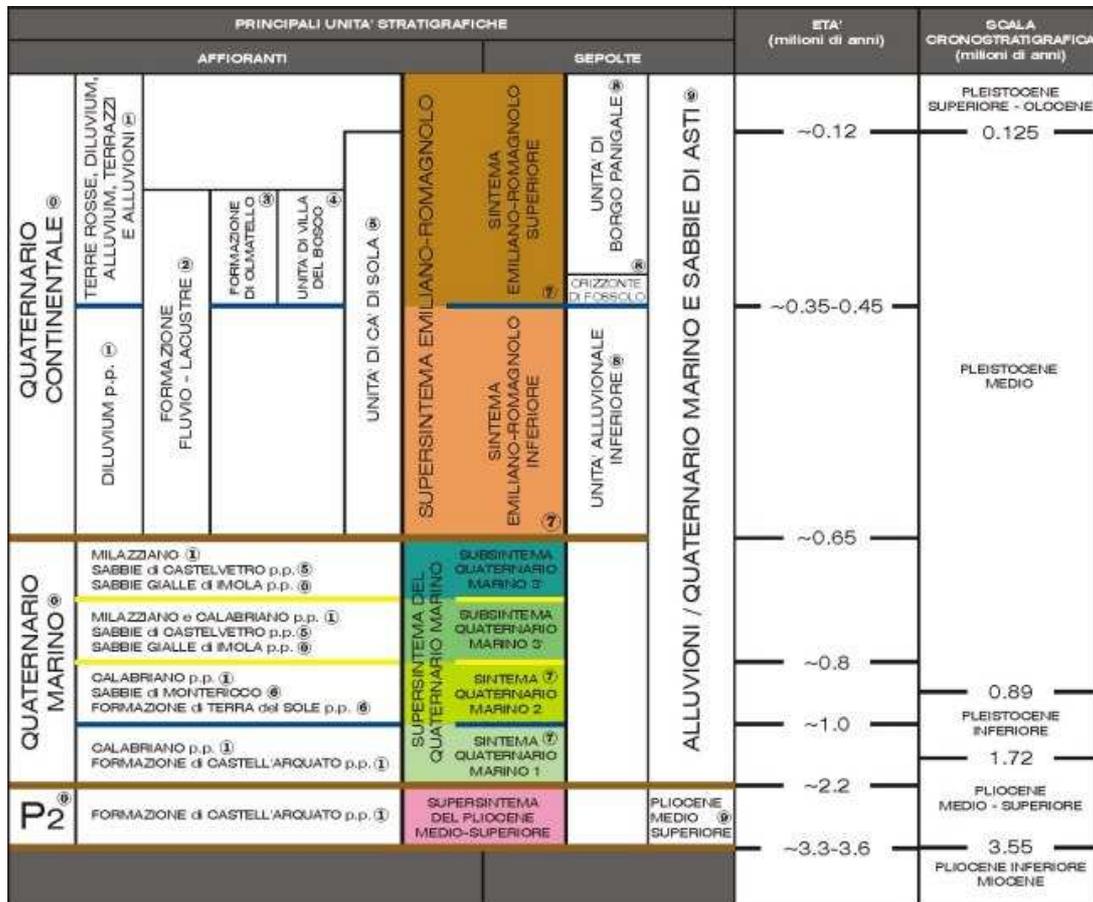


Fig. 7.1: Inquadramento geologico-stratigrafico dell'area di studio (da RER 1997)

7.1.1 L'unità profonda

Tali terreni sono concordanti tra loro e sono deformati secondo pieghe e faglie orientate NW-SE. In dettaglio, l'evoluzione sedimentaria si è svolta secondo lo schema seguente dal più antico (e quindi più profondo) al più recente.

I terreni del Cretaceo, per lo più formati da scaglia rossa, nell'area in esame sono stati trovati a 697 m di profondità a Casaglia, in corrispondenza della Dorsale Ferrarese.

L'Eocene, litologicamente dall'alto verso il basso, è formato da conglomerati ed arenarie, marne arenacee, calcari marnosi bianchi, scaglia cinerea, scaglia rossa. A Casaglia la sua potenza è di 227 m.

L'Oligocene è costituito da marne arenacee, marne calcaree e calcari marnosi. La sua potenza minima è di 268 m nei pressi di Casaglia. Da un punto di vista evolutivo, va sottolineato che nell'Oligocene e nel Miocene inferiore si accentua il processo d'emersione di vaste aree: la catena alpina è già quasi completamente emersa, mentre il Paleopennino è in piena fase di sollevamento, fra questi orogeni si imposta una fossa che tenderà a sprofondare quanto più si innalzeranno le due catene con un movimento non continuo ma alternato ed articolato in più fasi. Inizialmente, la fossa è interessata da una forte subsidenza e da una rapida sedimentazione dei materiali sciolti trasportati dai fiumi e derivanti dall'erosione delle terre emerse. Quello che ne risulta è un importante accumulo di sedimenti a granulometria decrescente da Nord-Ovest verso Sud-Est. Il fondo della fossa non è regolare, ma articolato in una serie di pieghe dovute sia a spinte di tipo compressivo sia a sprofondamento irregolare del substrato.

Il Miocene Inferiore è costituito da marne, marne arenacee ed arenarie; con la fine del Miocene inferiore, durante il Langhiano si registra una pausa nell'apporto di materiale clastico grossolano e prevalente deposizione di marne e argille. Nel Miocene medio, rappresentato litologicamente da marne calcaree ed arenacee, argille marnose e sabbie, il fenomeno subsidente riprende e con lui anche il ripiegamento del fondo della fossa, si vengono così a creare zone di alto strutturale che vanno a costituire vere e proprie isole nel mare miocenico. Fra queste strutture si comincia ad individuare una fascia di pieghe molto rilevate descrivente un arco tra Comacchio e l'Appennino Modenese, noto col nome di Dorsale Ferrarese. Nel Miocene superiore si ha un arresto della subsidenza e si instaura un ambiente lagunare ipersalino con sedimentazione di depositi evaporitici (banchi di marne, arenarie e gessi rappresentanti facies lagunari e salmastra. Nel periodo di transizione tra Miocene e Pliocene, si ha un'ulteriore fase tettonica con evidenti fenomeni di piegamento e conseguente emersione dal mare di vaste aree del settore sud orientale della pianura.

Nel Pliocene inferiore la subsidenza riprende con deposizione di sedimenti clastici grossolani nelle depressioni e di sedimenti a granulometria minore sulle dorsali sommerse. Le pieghe ferraresi continuano a rimanere emerse. Alla fine del Pliocene inferiore, si verifica una nuova fase di emersione e piegamento, senza segni evidenti di variazione dell'orientamento delle direttrici tettoniche; quest'ultimo fenomeno è particolarmente accentuato nel settore Sud orientale della Pianura Padana. All'inizio del Pliocene medio le anticlinali emersero dal mare con conseguente erosione del loro apice. Litologicamente, il Pliocene nelle due facies Astiano e Piacenziano è costituito da argille azzurre molto fini, con porosità bassissima; si notano inoltre minime intercalazioni sabbiose alla base.

7.1.2 L'unità superiore

Tale successione poggia in trasgressione e discordanza sul Pliocene inferiore all'apice delle anticlinali, mentre nelle sinclinali è ancora concordante e continua con i sedimenti sottostanti. Le strutture Plioceniche sepolte sembrano influenzare l'assetto dei sedimenti pleistocenici, che si presentano abbastanza ondulati con una generale pendenza verso SE, seguendo l'immersione degli assi strutturali Pliocenicici. Tale aspetto tende a diminuire con l'aumentare della profondità.

Nel Pliocene medio-superiore si avviò un nuovo ciclo di subsidenza e sedimentazione che proseguì fino al Quaternario basale; i sedimenti Quaternari giacciono in continuità su quelli del Pliocene superiore e raggiungono spessori di oltre 3000 metri nella zona corrispondente al litorale attuale (Bondesan, 1980).

In particolare, il Pleistocene Inferiore è caratterizzato litologicamente da sabbie argillose e argille sabbiose, con faune di clima temperato freddo durante il Calabriano ed il Siciliano, mentre presenta un banco di sabbie con microfauna di clima caldo durante l'Emiliano.

Il Pleistocene Superiore presenta depositi con un'alternanza di episodi a facies litorale, lagunare e palustre-continentale. Le facies marine sono date da lenti di sabbie e argille poco potenti e ricche di foraminiferi. Le facies salmastre e lagunari sono caratterizzate da resti abbondanti di vegetali e dalla scarsità di foraminiferi. Le facies continentali sono date da livelli palustri con torbe.

Per quanto riguarda l'Olocene, il limite inferiore non è netto poichè non è facile separare i depositi olocenici da quelli ascrivibili alle ultime glaciazioni; tale limite è inoltre assai differente da zona a zona, a causa di fenomeni di subsidenza differenziale. Litologicamente è costituito da sabbie a varia granulometria, con argille più o meno sabbiose e localmente lenti di torba.

Infine, nel Quaternario recente prevale la sedimentazione in connessione con le variazioni eustatiche del livello marino provocate dalle glaciazioni cosicché sostanziosi depositi continentali si sovrappongono ai sedimenti marini con completo ricoprimento delle strutture geologiche precedenti. I sedimenti alluvionali recenti hanno un assetto irregolare e più complesso. Infatti, pur presentandosi in stratificazione generalmente subparallela (con una certa pendenza verso NE in direzione del flusso degli attuali corsi appenninici), presentano a volte notevoli variazioni di potenza, che sembrano dovute ad ondulazioni del letto con depressioni ad andamento appenninico e probabilmente influenzate dalla presenza di paleoalvei.

7.2 Successione sedimentaria superficiale

La gran parte dei sedimenti che affiorano sulla superficie della pianura emiliano-romagnola sono recenti (età olocenica, meno di 10.000 anni), molti dei quali si sono depositati negli ultimi duemila anni. Essi fanno parte della successione post-evaporitica del margine padano-adriatico e derivano dalla complessa relazione fra il fiume Po a Nord, i fiumi appenninici a Sud ed il Mare Adriatico ad Est. Anche il clima e le variazioni del livello del mare hanno avuto un ruolo determinante nella costruzione della Pianura Padana. L'alternanza di climi caldi e freddi, di stagioni piovose e aride, di innalzamenti ed abbassamenti del livello marino, che hanno caratterizzato tutto il periodo Quaternario, hanno condizionato la quantità di sedimento trasportato dai fiumi, lo sviluppo dei loro delta e delle coste. Il tipo di sedimenti che costituiscono la struttura del sottosuolo della pianura e la loro distribuzione in profondità, registra anche questo aspetto della storia geologica del nostro paesaggio.

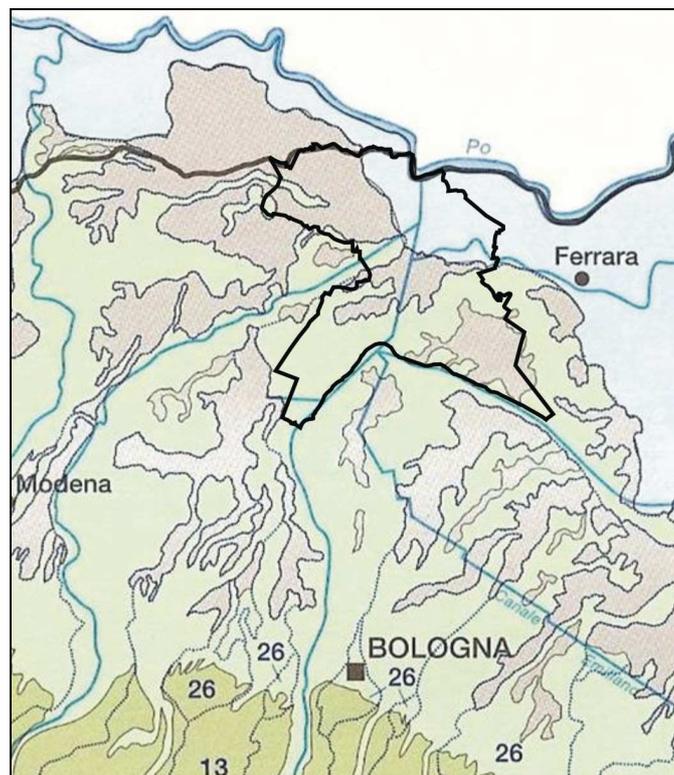


Fig. 7.2: Schema di provenienza del sedimento. In azzurro le aree di provenienza padana, in verde quelle di provenienza appenninica; per l'area dell'Alto Ferrarese i sedimenti di provenienza appenninica si distinguono tra quelli del bacino del Fiume Reno e quelli del bacino del Fiume Panaro.

I terreni della successione sedimentaria superficiale sono stati raggruppati nel Supersistema Emiliano-Romagnolo (Fig. 7.1), suddiviso nel Sistema Emiliano-Romagnolo Inferiore (AEI) e nel Sistema Emiliano-Romagnolo Superiore (AES) in base ai criteri della stratigrafia fisica, definiti dalle linee guida per il rilevamento della Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000 (Servizio Geologico Nazionale 1992, RER e ENI-AGIP 1998). In particolare, per la classificazione stratigrafica dei depositi quaternari di pianura, a fini cartografici, la Regione Emilia-Romagna ha adottato il criterio di classificazione delle litologie e degli ambienti deposizionali sintetizzato nella tabella seguente. Questo consente di caratterizzare i sedimenti di pianura sia sulla base della loro composizione litologica (ghiaie, sabbie, alternanza di sabbie e limi, ecc.) sia dell'ambiente in cui si sono deposte (alluvionale di canale, deltizio di area interdistributrice, ecc). Si possono così distinguere fra loro litologie in prima approssimazione simili, ma con geometrie e relazioni laterali e verticali dei corpi geologici molto diverse, in base al contesto sedimentario in cui si sono originati.

DEPOSITI ALLUVIONALI	Terrazzo, conoide e pianura alluvionale	<ul style="list-style-type: none"> - ghiaie e sabbie di riempimento di canale fluviale - sabbie e limi di argine, canale e rotta fluviale - argille e limi di piana inondabile - argille, limi e sabbie di tracimazione fluviale indifferenziata
DEPOSITI DELTIZI E LITORALI	Piana deltizia	<ul style="list-style-type: none"> - sabbie e limi di canale distributore, argine e rotta - argille e limi di area d'intercanale - argille e limi con sostanza organica di area interdistributrice
	Fronte deltizia e piana di sabbia	<ul style="list-style-type: none"> - sabbie di cordone litorale e duna eolica - argille e limi di retrocordone
DEPOSITI MARINI	Depositi di prodelta e piattaforma	- argille, limi e sabbie di prodelta e transizione alla piattaforma

In base a tali principi, la Carta della Geologia di Superficie dell'Emilia-Romagna (Fig. 7.3) descrive la distribuzione e le caratteristiche litologiche e di facies delle unità stratigrafiche contenute nel Supersistema Emiliano-Romagnolo che è l'unità stratigrafica comprendente l'insieme dei depositi quaternari di origine continentale che affiorano in corrispondenza del margine appenninico padano (Ricci Lucchi et alii, 1982) ed i sedimenti ad essi correlati nel sottosuolo della pianura emiliano-romagnola. Il limite inferiore del Supersistema Emiliano-Romagnolo non affiora nell'area. Il limite superiore coincide col piano topografico.

I depositi di superficie cartografati si riferiscono interamente al Sistema Emiliano-Romagnolo Superiore (AES). Questi ultimi includono depositi alluvionali che passano verso est a depositi deltizi e marini, organizzati in cicli deposizionali di vario ordine gerarchico. All'interno delle unità geologiche sono stati distinti i tipi litologici dominanti corrispondenti ad associazioni di facies (ad es. argille e limi di piana inondabile) che riflettono distinte unità morfologico-deposizionali.

Le relazioni geometriche tra gli elementi deposizionali (dossi fluviali ed aree interfluviali), tuttavia, rimangono in parte dubbie a causa dei processi di alterazione del sedimento (es. pedogenesi della porzione sommitale della coltre sedimentaria) e di parziale modificazione delle morfologie originarie per erosione e risedimentazione dei depositi superficiali. Ad ogni modo, si può affermare che i terreni sabbiosi sono localizzati principalmente in corrispondenza di antichi alvei fluviali o di loro coni di esondazione, i materiali più fini si sono invece depositati principalmente nelle piane alluvionali in seguito a straripamento dei fiumi o rotta degli argini naturali.

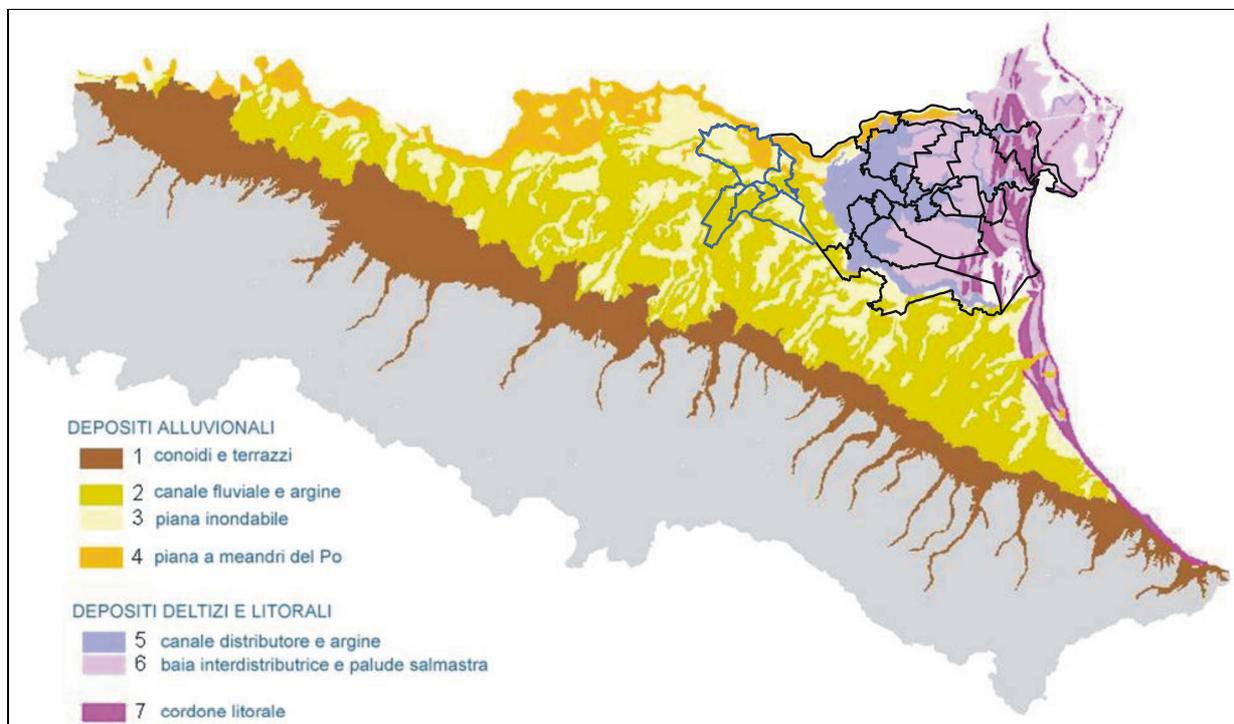


Fig. 7.3: Sintesi dei sistemi deposizionali estratta dalla Carta geologica di pianura in scala 1:250.000 (RER 1999); in nero è evidenziata l'area in cui si estende il territorio provinciale di Ferrara, mentre in blu è evidenziato il territorio dell'Alto Ferrarese (riportato in dettaglio nella figura seguente).

Dall'analisi della Carta, si può notare come l'area occidentale della Provincia di Ferrara in cui è situato il territorio dell'Alto Ferrarese (Fig. 7.4 e 7.5) sia interamente caratterizzata da depositi di piana alluvionale; si tratta di depositi di canale fluviale e di argine caratterizzati:

- Da sabbie medie e grossolane corrispondenti ai depositi di argine e di rotta circostanti l'attuale corso del Po per tutto il suo percorso fino a Berra. Lo stesso tipo di sabbie si trova anche in corrispondenza dell'antico alveo del Po di Ferrara e del Poazzo, attivo in Età Etrusca. Formano corpi a geometria nastriforme larghi qualche centinaio di metri oppure si saldano lateralmente e verticalmente e formano dei corpi composti con geometria d'insieme relativamente tabulare e spessore oltre 10 metri. Sono talvolta coperti da un sottile strato di terreno a grana fine. In tali zone si trovano le cave di Settepolesini (Bondeno), Fondo Sbarra, Fondo Casino o Casaglia (Ferrara).
- Appartengono a questo settore anche le alluvioni ascrivibili ai diversi alvei, sia naturali che artificiali percorsi nel tempo dal fiume Reno. Depositi costituiti da alternanze di sabbie fini e finissime, spesso limose, in strati da sottili a spessi, e limi, limi sabbiosi e limi argillosi, in strati da molto sottili a medi. Gli strati sono organizzati in sequenze con gradazione positiva. Localmente sono presenti sabbie medio-grossolane alla base delle sequenze positive ed intercalazioni di argilla al tetto. Sono interpretati come depositi di argine e di rotta fluviale e, subordinatamente, di riempimento di canale. Sono stati cartografati solo in superficie dove formano dei corpi rilevati a geometria nastriforme, di larghezza variabile da poche centinaia di metri a 5 km e possono essere formati da un singolo sistema fluviale o da più sistemi coalescenti. Sulla loro superficie sono spesso visibili le tracce dei canali abbandonati e dei ventagli di rotta. Lo spessore massimo è intorno a 7/8 m. Passano lateralmente a depositi di piana inondabile con contatti gradualmente. Si estendono su un'area abbastanza ampia che partendo da Cento, prosegue verso Nord per Sant'Agostino, Mirabello, Vigarano Mainarda e da qui ripiega verso Sud.
- All'interno di questa fascia, nel ramo sud-occidentale della provincia, e al contorno della fascia stessa, nelle aree dove sorgono Poggio Renatico e Chiesa Nuova, e ancora più ad Est, a ridosso del vecchio corso del Po di Primaro, affiorano facies deposizionali corrispondenti agli argini distali. Formano corpi a geometria allungata parallelamente agli assi fluviali, che può divenire più complessa quando diverse aree interfluviali si saldano fra loro costituendo i bacini in cui si chiudono i depositi di argine, canale e rotta dei corsi d'acqua appenninici. Passano lateralmente a depositi di argine, canale e rotta fluviale con contatti gradualmente o a depositi di canale distributore con contatti netti. Si tratta di limi sabbiosi, sabbie fini e finissime, argille limose e subordinatamente sabbie limose argillose intercalate in strati di spessore decimetrico.
- Infine il quarto terreno presente nel settore occidentale della provincia è costituito da sedimenti di area interfluviale e depositi di palude. Si tratta di depositi costituiti da argille e, in minor misura, da limi

variamente arricchiti in sostanza organica indecomposta in strati da sottilissimi a medi (raramente spessi) alternati ad argille, limi e, raramente, limi sabbiosi, in cui la sostanza organica è subordinata o assente. La sostanza organica può essere presente in lamine millimetriche, come frammenti vegetali o essere diffusa nell'argilla. Quest'ultimo caso è molto frequente: la sostanza organica si concentra, tramite un progressivo graduale incremento verso l'alto, al tetto di cicli dominati da litologia molto fine e con gradazione positiva. Talora sono presenti diffusi fenomeni di bioturbazione che hanno obliterato tutte le strutture sedimentarie interne. Gli orizzonti più sottili sono interpretati come depositi di palude effimera entro un'associazione di facies di piana inondabile non drenata. Gli orizzonti più spessi e più estesi arealmente sono interpretati come vere e proprie paludi d'acqua dolce di area interfluviale. Lo spessore complessivo dell'associazione di facies varia da pochi decimetri a qualche metro. Questi corpi passano lateralmente e verticalmente a depositi di tracimazione fluviale in contatto da graduale a netto. Verso la piana costiera passano, con contatto graduale, a depositi organici di palude-laguna.

Il settore centrale della Provincia di Ferrara è invece caratterizzato da depositi di canale distributore e di argine, si tratta in prevalenza di sabbie da medie a fini in strati di spessore decimetrico passanti lateralmente ed intercalate a sabbie fini e finissime limose, localmente si tratta di sabbie grossolane in corpi lenticolari e nastriformi. Tali depositi sono occasionalmente interrotti da lenti di varia estensione areale; si tratta sempre di depositi di piana deltizia, ma tipici di ambienti di palude, costituiti da limi e limi argillosi intercalati in strati decimetrici, localmente caratterizzati da livelli organici parzialmente decomposti. Procedendo da ovest verso est si può notare come i depositi sopra citati si riducano considerevolmente, limitandosi alle aree coincidenti con le tracce dei paleoalvei, mentre si diffondono i depositi di baia interdistributrice, caratterizzati da argille limose, limi e sabbie finissime in strati decimetrici intercalati a livelli torbosi e/o a sostanza organica parzialmente decomposta, localmente presentano gusci di molluschi, sabbie fini e finissime limose in sottili corpi nastriformi.

Infine nella porzione più orientale della Provincia di Ferrara sono presenti depositi di fronte deltizia e litorali caratterizzati da depositi di cordone litorale e dune eoliche composti per lo più da sabbie medie e fini con intercalati livelli decimetrici di gusci di molluschi, subordinatamente livelli di limi sabbiosi e di sostanza organica parzialmente decomposta. Tali terreni si alternano a depositi di palude salmastra composti principalmente da limi, sabbie e sabbie fini.

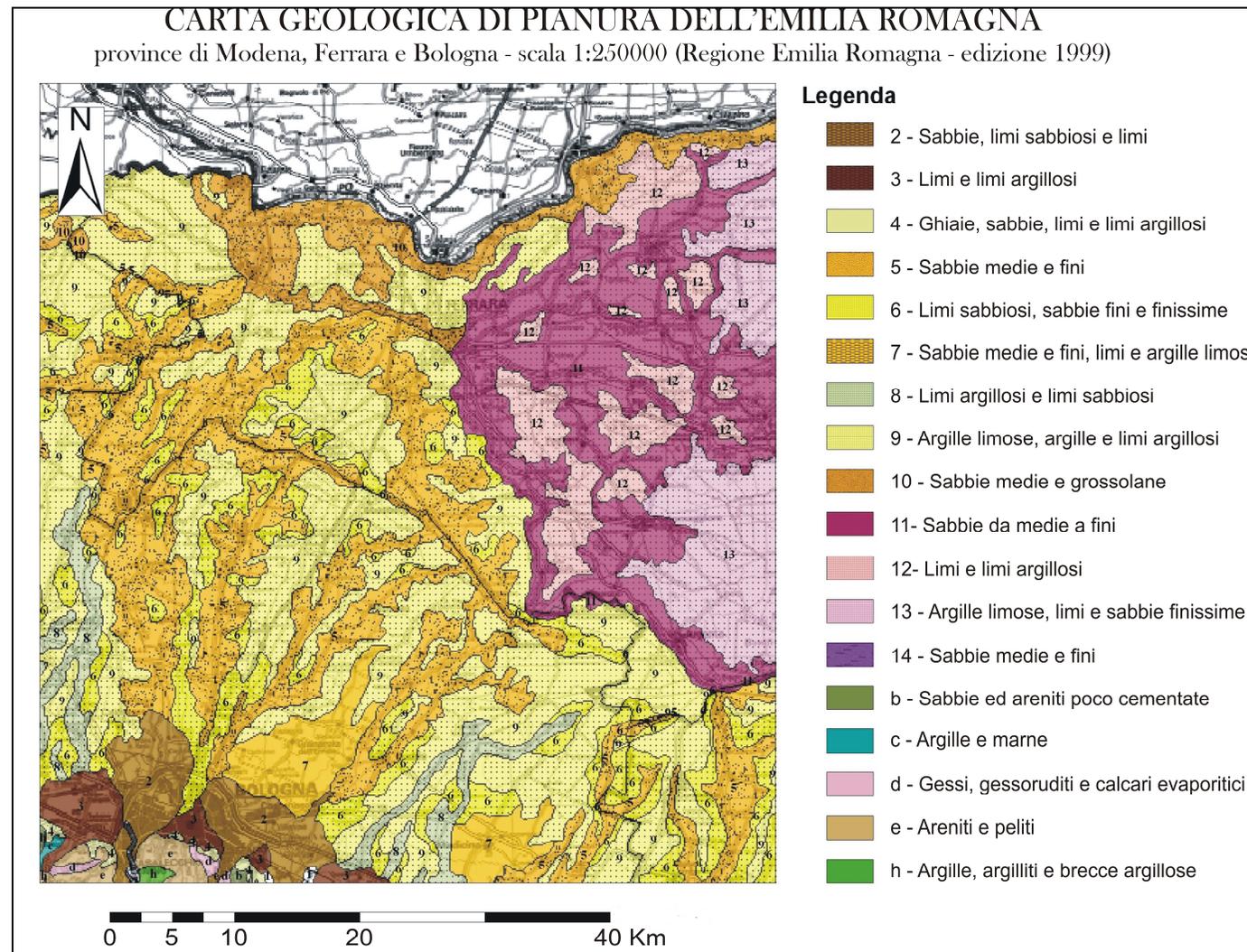


Fig. 7.4: Estratto della carta geologica di pianura dell'Emilia Romagna (1999)

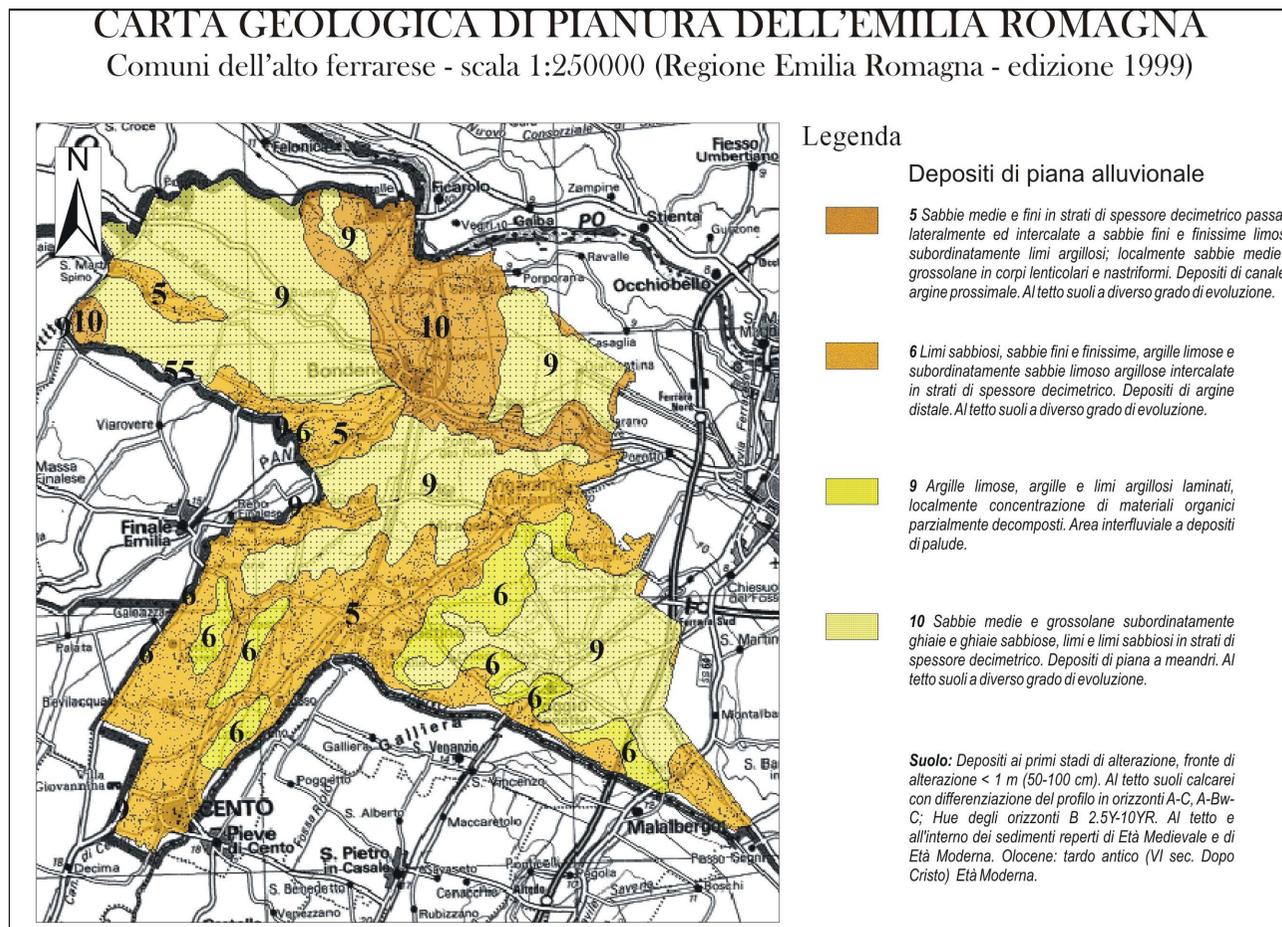


Fig. 7.5: La Carta Geologica di Pianura dell'Emilia-Romagna nasce dall'analisi fotointerpretativa di dettaglio di riprese aeree (voli G.A.I. 1950/1955 e volo R.E.R. 1988), dall'analisi di immagini telerilevate (LANDSAT TM 3-5-6), dall'analisi di cartografie storiche e dalla bibliografia di settore, nonché dall'analisi dell'altimetria di pianura; la taratura delle suddette analisi è stata condotta grazie ai dati provenienti da 3500 sondaggi e trivellate. L'intero set di dati oltre a consentire la caratterizzazione litologica superficiale (sino alla profondità di 1,5 - 2 metri dal piano campagna), ha permesso, attraverso l'analisi dei fenomeni deposizionali ed il riconoscimento delle facies, la suddivisione in ambienti deposizionali. Grazie al rilevamento pedologico ed all'analisi del grado di alterazione dei suoli, è inoltre stato possibile classificare i depositi in unità pedostratigrafiche e, con il supporto delle analisi geomorfologiche e dei reperti archeologici, è stato infine possibile assegnare loro un'età.

L'analisi sin qui condotta è sostanzialmente confermata da quanto riportato nel Piano Infraregionale delle Attività Estrattive della Provincia di Ferrara (P.I.A.E. 2002-2011) di cui si riporta uno stralcio della Carta dei Geomateriali per il territorio dell'Alto Ferrarese (Fig. 7.6) corredato da una breve descrizione.

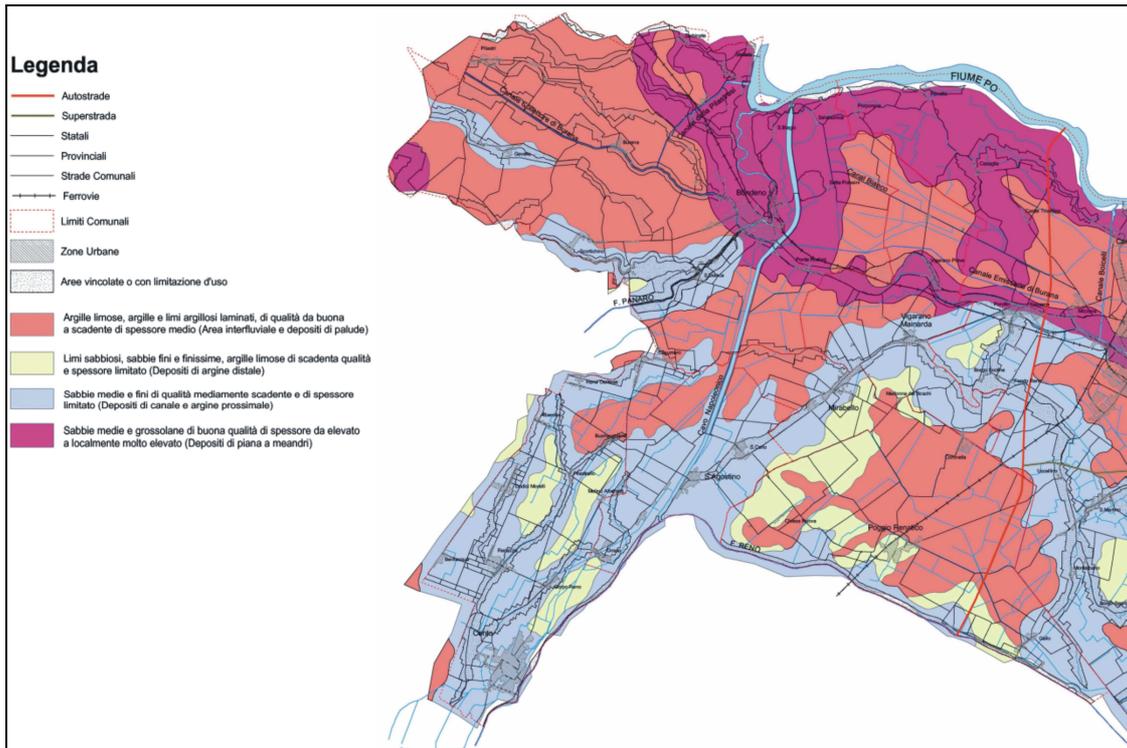


Fig. 7.6: Estratto della Carta dei Geomateriali (da PIAE della Provincia di Ferrara)

In linea generale si può dire, con buona approssimazione, che i sedimenti trasportati dai fiumi hanno granulometria che passa da più grossolana (per il territorio ferrarese essenzialmente sabbia media) a più fine (limi e argille), via via che si passa dagli alvei e dagli argini naturali fino ai bacini intrafluviali, nei quali la sedimentazione avveniva per decantazione delle peliti in sospensione nelle acque delle paludi.

Inoltre la granulometria delle sabbie nei paleoalvei passa da media, nel settore occidentale, fino a fine nel settore centrale, in virtù della diminuzione di energia legata alla diminuzione di pendenza del terreno, via via che ci si avvicina al mare.

Infine, sempre per quanto riguarda le sabbie dei paleoalvei, queste dovrebbero essere più grossolane e pulite, quindi di qualità migliore, in corrispondenza di alvei percorsi dal Po, piuttosto che quelli percorsi da fiumi appenninici, in quanto le litologie affioranti nei loro bacini di alimentazione sono in gran parte argilliti e le loro portate sono state sempre di gran lunga inferiori a quelle del Po.

Per quanto riguarda poi gli spessori dei corpi sabbiosi che costituiscono i paleoalvei, sembra logico supporre che siano maggiori in corrispondenza di corsi che sono stati importanti, con portata liquida notevole, e che sono stati stabili per molti secoli, avendo avuto in questo modo il tempo e l'energia per depositare a lungo grandi quantità di sabbia.

Inoltre, in queste tipologie di paleoalvei può talora succedere, come avviene nella cava di Settepolesini, che le sabbie del paleoalveo siano in continuità con le sabbie della pianura glaciale. In questo caso gli spessori complessivi delle sabbie possono raggiungere anche i 50 m, con granulometrie che tendono ad aumentare verso il basso. Sono infatti segnalate localmente anche ghiaie fini.

Alla luce di queste considerazioni di carattere generale, e con l'ausilio dei dati provenienti dalle cave presenti sul territorio, è possibile distinguere, anche sulla base delle informazioni date dalla carta geologica:

- potenti depositi di sabbia mediamente di ottima qualità (importanti e riconosciuti paleoalvei del Po), con uno spessore medio, stimato su tutta l'area di affioramento, di circa 10 m. Localmente lo spessore può raggiungere i 50 m (cava di Settepolesini). Questi terreni, data la modalità di estinzione di un paleoalveo di grandi dimensioni, sono spesso sepolti da uno strato che va da 1 a 2 m di terreno a grana fine;
- depositi di sabbia più fine, talora limosa o limoso argillosa (paleoalvei del Reno; tratti terminali di alvei del Po), mediamente meno potenti (circa 3/4 m di spessore medio, stimato su tutta l'area di affioramento). Si tratta di depositi sub-affioranti con copertura che, mediamente, non supera il metro;
- in continuità laterale con questi depositi, e spesso con passaggio molto graduale, si trovano i terreni più fini: limi argillosi e argille limose, più raramente argille e limi, che rappresentano il prodotto della sedimentazione in ambienti palustri. Questi sedimenti si trovano praticamente in superficie.
- laddove la palude è rimasta attiva più a lungo, e nei territori di recente bonifica, a questi terreni possono essere intercalati livelli, talora anche potenti, di torba o materiale organico parzialmente decomposto.

7.3 Caratteristiche litologiche dei depositi superficiali

La Carta della litologia di superficie (B2.2 scala 1:40.000) fornita dall'Amministrazione Provinciale di Ferrara viene riprodotta in Fig. 7.8. Detta carta tematica di base è stata costruita in base alle analisi granulometriche di campioni analizzati che rappresentano tutto lo strato che va da circa 10 cm fino a 80 cm di profondità dal piano campagna. Sostanzialmente nel territorio in esame dominano in affioramento le litologie composte da miscele binarie e ternarie di sabbia, limo e argilla. Le frazioni granulometriche prese in considerazione sono: sabbia (particelle comprese fra 1 e 0.08 mm), limo (tra 0.08 e 0.002 mm) e argilla (<0.002 mm). La classificazione litologica in base alle tre classi granulometriche componenti è stata fatta per mezzo del diagramma triangolare di Shepard (Fig. 7.7).

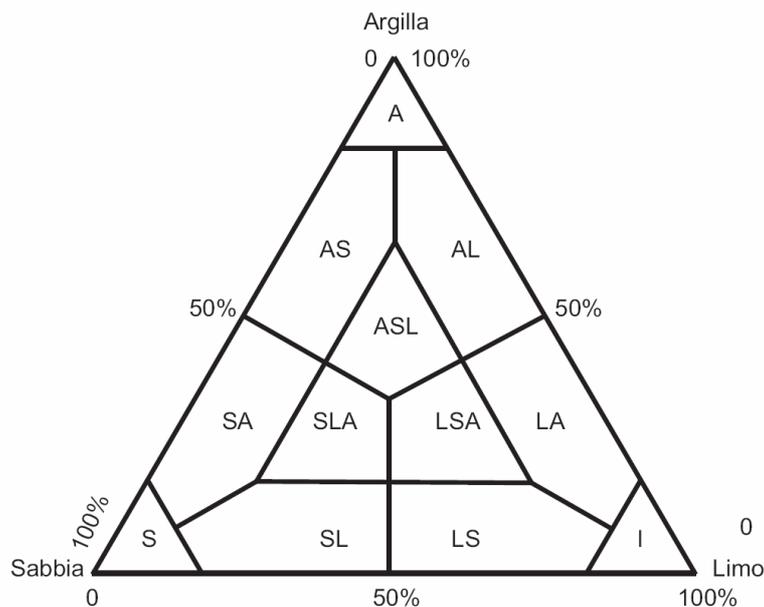


Fig. 7.7: Classificazione dei sedimenti secondo il diagramma ternario di Shepard.

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. In corrispondenza dei paleovalci sono presenti sedimenti sabbiosi (principalmente sabbie limose e sabbie argillose), alternati a terreni equilibrati (miscele ternarie argilla-limo-sabbia).

Nelle depressioni, che costituisce un comparto morfologico concavo compreso tra diversi fiumi (es: Sammartina), la maggior parte del terreno superficiale risulta costituita da materiali argillosi (argille-sabbiose, argille-limose e argille).

In particolare, per ciascuno dei sei comuni dell'Alto Ferrarese si può osservare che:

- Bondeno: sedimenti argilloso-limosi sono prevalenti e ricoprono quasi completamente la porzione occidentale e Sud occidentale del territorio comunale dove però sono presenti in abbondanza anche miscele ternarie di argilla-limo-sabbia; sedimenti argilloso-sabbiosi caratterizzano l'area compresa tra l'abitato di Bondeno ed il margine Nord orientale del territorio comunale (in cui si sviluppa il paleoalveo del Poazzo); sedimenti limosi sono presenti nella porzione centro settentrionale del territorio; altri tipi litologici pur essendo presenti non hanno rilevanza particolare per estensione o continuità laterale.
- Cento: miscele ternarie di argilla-limo-sabbia prevalgono nella parte meridionale e del territorio e si alternano a sedimenti argilloso-limosi in quella centrale; questi ultimi prevalgono invece lungo tutto il margine Nord occidentale e nella zona settentrionale del territorio comunale; corpi allungati sabbioso- argillosi si rinvencono in prossimità degli abitati di Casumaro, Corpo Reno, Renazzo e lungo la direttrice Alberane-Pilastrello, a testimoniare l'esistenza di antichi alvei fluviali.
- Mirabello: la litologia prevalente è data da miscele ternarie di argilla-limo-sabbia che nelle punte orientale ed occidentale del territorio passa a termini argilloso-limosi; sedimenti argilloso-sabbiosi sono presenti in prossimità dell'abitato di Cà dei Barbieri e lungo la direttrice Marsiglia-Fondo Madonna; un esteso corpo sabbioso-argilloso è cartografato tra la SS 55 e l'abitato di Mirabello.
- Poggio Renatico: estesi corpi sabbioso-argilloso sono cartografati a Nord dell'abitato di Chiesa Nuova e lungo tutto il confine meridionale del comune (in corrispondenza del corso del Reno); a Nord di quest'ultimo, si estende una fascia di sedimenti che passano da miscele ternarie di argilla-limo-sabbia via via fino a terreni argilloso sabbiosi in corrispondenza della fascia centrale del territorio comunale; nella porzione più settentrionale sono invece presenti sedimenti da argilloso-limosi ad argillosi.
- Sant'Agostino: la quasi totalità del territorio comunale è interessato da miscele ternarie di argilla-limo-sabbia che nella porzione Nord occidentale passano a termini argilloso-sabbiosi; un esteso corpo da sabbioso-argilloso a sabbioso è cartografato presso l'abitato di Dosso mentre uno sabbioso-limoso si trova a Sud dell'abitato di Sant'Agostino.

- Vigarano Mainarda: nella porzione centro settentrionale prevalgono sedimenti da argilloso-sabbiosi ad argilloso-limosi, mentre nella porzione centro meridionale prevalgono miscele ternarie di argilla-limo-sabbia intercalate a miscele binare di ogni sorta; corpi sabbioso-argillosi sono presenti a Nord di Madonna Boschi ed ad Est di Vigarano Pieve

Dal confronto tra la Carta della Geologia di Superficie dell'Emilia-Romagna (Fig. 7.4 da RER 1999) e la Carta della Litologia di Superficie fornita dall'Amministrazione Provinciale di Ferrara (Fig. 7.8), quest'ultima pur essendo più dettagliata, risulta sicuramente meno leggibile; in essa infatti si perdono le tracce delle forme caratteristiche del nostro territorio (paleovalvi, ventagli di rotta, intercatini,...) e ciò è dovuto al differente criterio di redazione che privilegia una classificazione meramente granulometrica rispetto alla classificazione delle litologie e degli ambienti deposizionali adottata nella stratigrafia fisica (cfr. pag. 34). Inoltre, se si considera che non sempre la caratterizzazione granulometrica su cui è basata la Carta della Litologia di Superficie deriva da analisi di laboratorio ma spesso è desunta da descrizioni di campioni *in situ* e che da operatore ad operatore ci possono essere differenze di interpretazione notevoli, risulta naturale affermare che la Carta della Geologia di Superficie dell'Emilia-Romagna (Fig. 7.4 da RER 1999) sembra ridisegnare più fedelmente i caratteri salienti del territorio. Ciò è particolarmente vero per i sedimenti che si trovano immediatamente al di sotto del cappellaccio superficiale alterato e rimobilizzato mentre per i primi decimetri di terreno la Carta della Litologia di Superficie fornita dall'Amministrazione Provinciale di Ferrara (Fig. 7.8) sembra essere comunque l'unico elaborato a cui fare riferimento.

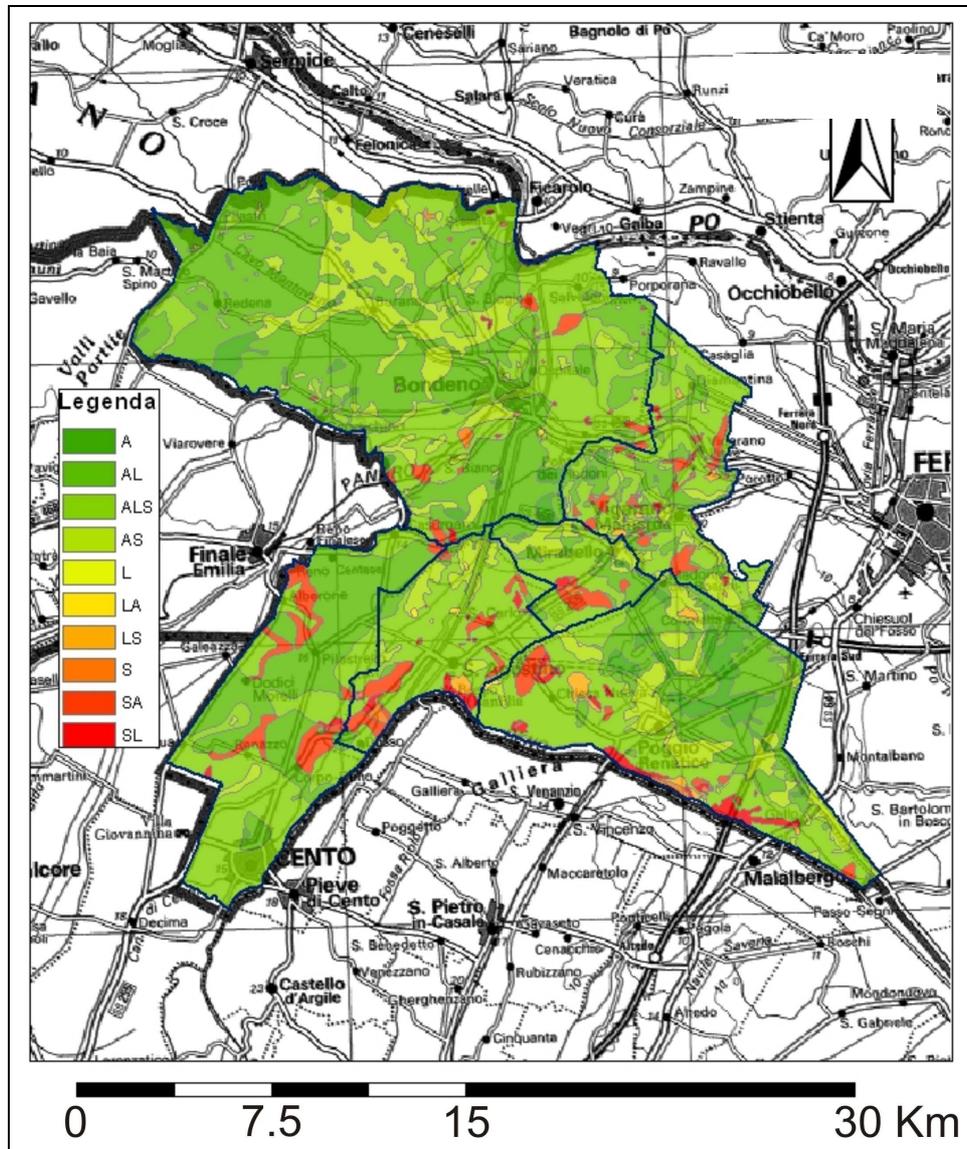


Fig. 7.8: Carta litologica dell'Alto Ferrarese (da Amministrazione Provinciale di Ferrara)

8 CARATTERISTICHE GEOMECCANICHE DEI TERRENI

Per poter valutare le caratteristiche geomeccaniche dei terreni presenti nel territorio interessato dal PSC si è deciso di reperire ed organizzare non solo le nuove prove condotte da Elletipi s.r.l. su incarico dell'Associazione Comunale dell'Alto Ferrarese, ma anche i dati disponibili derivanti da indagini preesistenti connesse ai PRG vigenti, ai piani particolareggiati e alle indagini geologiche, tutte svolte all'interno territorio interessato e rese disponibili dagli Uffici Tecnici delle Amministrazioni Comunali.

Tali dati sono stati distinti secondo 5 classi:

- 1) prove penetrometriche statiche con punta meccanica (tipo Begemann) CPT;
- 2) prove penetrometriche statiche con punta elettrica (o con piezocono) CPTe;
- 3) prove penetrometriche dinamiche pesanti DPSH;
- 4) prove penetrometriche dinamiche leggere DPL;
- 5) sondaggi.

La Figura 8.1 mostra la distribuzione dei dati disponibili all'interno del territorio investigato. La maggior parte dei dati è ubicata, com'è naturale, all'interno o in prossimità dei centri urbani maggiori; sono tuttavia presenti numerose prove CPTe, in gran parte provenienti dall'archivio regionale, che hanno una distribuzione più regolare all'interno dell'area e consentono il "raccordo" fra le differenti aree caratterizzate da densità di prove maggiore.

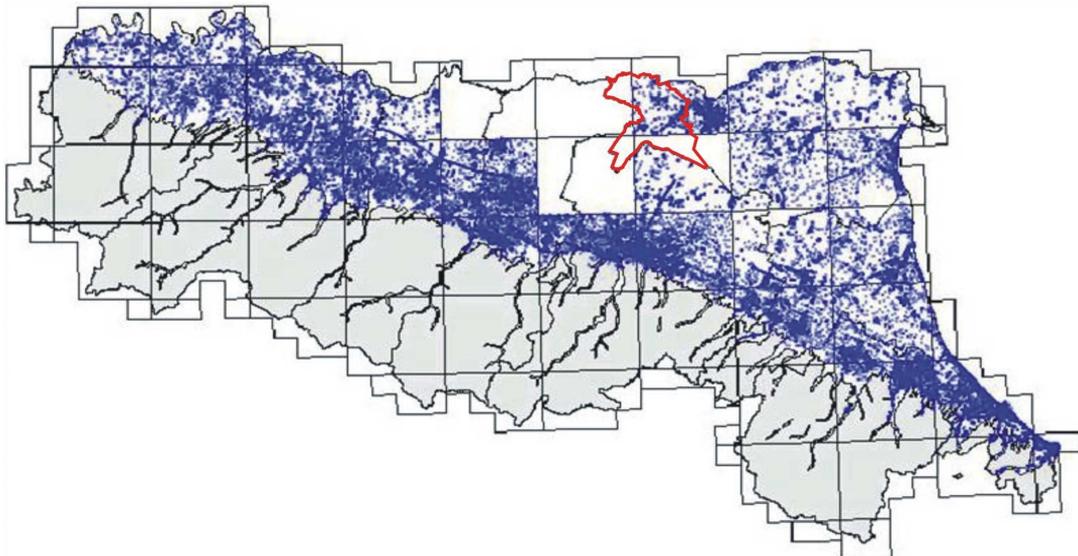


Fig. 8.1: Distribuzione dei punti della Banca dati Geognostici della Regione Emilia-Romagna

Per quanto riguarda il tipo di prove disponibili si può dire che la maggior parte delle prove sono penetrometrie di tipo statico e solo subordinatamente sondaggi e prove dinamiche. Proprio per questo, il parametro che meglio sembra consentire la caratterizzazione geomeccanica dei terreni è rappresentato dalla resistenza alla punta (“Rp” in Kg/cm²) all’avanzamento durante l’esecuzione della prova CPT (o CPTe).

La caratterizzazione geomeccanica del terreno è stata fatta elaborando i “valori medi” di Rp su diverse profondità (da -0.3 m a -0.8 m da p.c. e successivamente da -0.8 m a -7 m da p.c.) ed i “valori minimi” di Rp (da -0.3 m a -0.8 m da p.c.). A ciascun intervallo è stato assegnato un punteggio che, opportunamente elaborato, ha permesso di derivare la resistenza complessiva alla punta “p” (Fig. 8.2).

Resistenza alla punta media -0.3m / -0.8m Rp (Kg/cm ²)	Punteggio A
Rp ≤ 5 Kg/cm ²	0
5 Kg/cm ² < Rp ≤ 10 Kg/cm ²	1
10 Kg/cm ² < Rp ≤ 25 Kg/cm ²	2
25 Kg/cm ² < Rp ≤ 50 Kg/cm ²	3
Rp > 50 Kg/cm ²	4
Resistenza alla punta media -0.8m / -7m Rp (Kg/cm ²)	Punteggio B
Rp ≤ 5 Kg/cm ²	0
5 Kg/cm ² < Rp ≤ 10 Kg/cm ²	1
10 Kg/cm ² < Rp ≤ 25 Kg/cm ²	2
25 Kg/cm ² < Rp ≤ 50 Kg/cm ²	3
Rp > 50 Kg/cm ²	4
Resistenza alla punta minima -0.3m / -0.8m Rp (Kg/cm ²)	Punteggio C
Rp ≤ 3 Kg/cm ²	-1
Rp > 3 Kg/cm ²	0

Punteggio totale «p»	Valore di resistenza alla punta»	Colore
0 ≤ p ≤ 1	Molto scarse	Nero
1 < p ≤ 3	Scarse	Blu
3 < p ≤ 5	Medie	Verde
5 < p ≤ 7	Buone	Rosso
7 < p ≤ 8	Molto buone	Arancio

Fig. 8.2: Categorie di punteggio in base ad “Rp” e successiva derivazioni in classi di resistenza complessiva alla punta “p”.

I valori di "p" sono poi stati ridistribuiti in 5 classi da molto scarsi a molto buoni con cui sono state in seguito realizzate le carte delle qualità geotecniche (B2.8 a scala 1:40.000, B2.8N e B2.8S a scala 1:25.000).

Da una prima osservazione delle carte è facile notare che i valori maggiori di R_p si trovano in corrispondenza dell'affioramento delle sabbie alluvionali presenti nelle aree di canale e nei dossi fluviali (es: paleovalvei del Po nei pressi dell'abitato di Bondeno e paleovalveo del Reno lungo la direttrice che collega Sant'Agostino e Mirabello). Le fasce caratterizzate dalle resistenze maggiori sono disposte parallelamente ai corsi d'acqua mentre, allontanandosi da questi, nelle aree di piana alluvionale i valori di R_p tendono a diminuire (es: intercatino fluviale posto tra Corpo Reno e Renazzo nel territorio Comunale di Cento).

8.1 Caratteristiche di edificabilità geomeccanica

Per la valutazione dell'edificabilità in aree di pianura si propongono quindi le seguenti classi:

Zone caratterizzate da terreni di qualità **Molto Scarse** ($0 < p < 1$) e/o da terreni alternati a livelli particolari (torbe, argille sensibili, ecc..) di potenza considerevole, tale da sconsigliare l'insediamento anche per edifici o infrastrutture di modesto impegno, se non con particolari tecniche costruttive.

Zone caratterizzate da terreni di qualità **Scarse** ($1 < p < 3$) che, con le normali tecniche costruttive possono essere considerate edificabili, per insediamenti di modesto impegno (modeste pressioni di esercizio unitarie, distribuzione omogenea e simmetrica dei carichi); mentre per edifici anche di non rilevante impegno possono rivelarsi necessarie fondazioni particolari.

Zone caratterizzate da terreni di qualità **Medie** ($3 < p < 5$), edificabili con normali tecniche costruttive per insediamenti di modesto impegno; le caratteristiche meccaniche dei terreni richiedono comunque cautela ed analisi geognostiche dettagliate. Per edifici di un certo impegno possono rivelarsi necessarie fondazioni che trasferiscano i carichi statici ad una maggiore profondità.

Zone caratterizzate da terreni dotati di qualità meccaniche **Buone** ($5 < p < 7$), edificabili con normali tecniche costruttive per insediamenti di normale impegno (edifici residenziali fino a tre piani). Per opere impegnative è probabile debbano essere richieste fondazioni particolari.

Zone dotate di terreni di qualità meccaniche **Molto Buone** ($7 < p < 8$), edificabili con normali tecniche costruttive; nei casi in cui questa categoria di terreni sia al limite con le zone **Medie** o **Scarse**, è opportuno specificare la necessità di un approfondimento conoscitivo nelle fasi successive.

Le cinque classi in cui sono stati suddivisi i terreni, in funzione del grado di compressibilità valgono anche per il grado di consistenza ottenuto tramite determinazione del limite liquido, del limite plastico e della umidità naturale. In particolare, la I e II classe comprendono terreni inconsistenti, con valori di umidità naturale superiori al limite di liquidità, la III classe comprende terreni a consistenza molle, la IV e la V comprendono terreni a consistenza da compatta a media.

In particolare, nell'Alto Ferrarese i terreni sono per lo più classificabili come "terreni coesivi teneri" e 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.

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 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 e le carte delle qualità geotecniche da essa derivate, non potranno risolvere problemi puntuali di fondazione, ma potranno indicare i rischi oggettivi che si possono incontrare nella progettazione e quindi indirizzare opportunamente la progettazione geotecnica nell'acquisizione dei parametri fisici necessari per il calcolo delle verifiche di stabilità.

9 BIBLIOGRAFIA "INQUADRAMENTO GEOLOGICO-STRUTTURALE"

AGIP-ENEL (1982)- Pozzo Casaglia 2. Stratigrafia

AGIP S.p.A., 1982. Lessico delle Formazioni del bacino padano.

AGIP (1977) - Temperature sotterranee. Inventario dei dati raccolti dall'Agip durante la ricerca e la produzione di idrocarburi in Italia. F.Ili Brugoria, Segrate (MI). pp. 1390.

AMOROSI A., FARINA M., 1994. Sequenze deposizionali nei depositi alluvionali quaternari del primo sottosuolo nell'area a est di Bologna, tra il T Savena e il T Idice. Ist European Congress on Regional Geological Cartography and Information Systems. Bologna, June 13-16, 5, 35-54.

AMOROSI A., COLALONGO M. L., PASINI G., PRETI D., (in stampa). Sedimentary response to Late Quaternary sea-level changes in the Romagna coastal plain (northern Italy). Sedimentology.

AMOROSI A., FARINA M., PRETI D., SEVERI P., 1994. Depositional sequences in the Quaternary alluvial succession of the Po Plain (Bologna area). 15th I.A.S. Regional Meeting, Ischia, April 13-15, 29- 30.

AMOROSI A., FARINA M., SEVERI P., PRETI D., CAPORALE L., Di DIO G., 1996. Genetically related alluvial deposits across active fault zones: an example of alluvial fan-terrace correlation from the upper Quaternary of the southern Po Basin, Italy. Sedimentary Geology, 102, 274-295.

AMOROSI A., CAPORALE L., CIBIN U., COLALONGO M. L., PASINI G., RICCI LUCCHI F, SEVERI P., VAIANI S. C., 1997. Le "Sabbie Gialle" del margine padano-adriatico. GEOITALIA 1997 – 1° Forum Italiano di Scienze della Terra, Bellaria, 5-9 Ottobre, 215-216.

ANTIGNANO S. & D'OFFIZI S. (2006) – La geologia per un'energia pulita, sicura ed effettivamente alternativa. Rend. Soc. Geol. It., 3, Nuova Serie, 67-79.

AQUATER (1982) - Industria termale e utilizzazioni dei fluidi geotermici: l'esempio del progetto "Bagno di Romagna". A.N.I.M., giornata di studi su: Fluidi caldi e risorse energetiche marginali del sottosuolo". GEOFLUID, Piacenza 1 ottobre 1982.

AQUATER (1984) - Le risorse idrotermali del progetto Bagno di Romagna. Giornata di studio "Idrotermalismo e Geotermia. L'esempio di Bagno di Romagna". Bagno di Romagna, 29 giugno 1984.

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.

ARGNANI A., BERNINI M., DI DIO G., PAPANI G. AND ROGLEDI S. (1997) - Stratigraphic record of crustal-scale tectonics in the quaternary of the Northern Apennines (Italy). Il Quaternario, 10 (2), 595-602.

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.

BISCAYE P. E., 1965. Mineralogy and sedimentation of recent deep sea clays in the Atlantic Ocean and adjacent seas and oceans. *Geol. Soc. of Am. Bull.*, 76, 803-832.

BOCCALETTI M., COLI M., 1982. Carta Strutturale dell'Appennino Settentrionale, scala 1:250.000.

BOCCALETTI M., COLI M., EVA C., FERRARI G., GIGLIA G., LAZZAROTTO A., MERLANTI F., NICOLICH R., PAPANI G. & POSTPISCHL D. (1985) - Considerations on the seismotectonics of the Northern Apennines. *Tectonophysics*, 117, 7-38.

BOCCALETTI, M., BONINI M., CORTI G., GASPERINI P., MARTELLI L., PICCARDI L., SEVERI P. & VANNUCCI G. (2004) – Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna, scala 1:250.000. Regione Emilia-Romagna, SGSS – CNR-IGG, sezione di Firenze. S.EL.CA, Firenze.

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. (1995) – Il territorio della provincia di Ferrara, l'evoluzione idrografica e ambientale e il rapporto uomo – natura nei secoli. In: "Guida tematica di Ferrara e provincia, Silvana Editoriale, 159-164.

BONDESAN M. (1995A) – New evidence on the evolution of the Po-delta coastal plain during the Holocene. *Quaternary International*, 29/30, 105-110.

BONDESAN M. (1995B) – Rapporti fra lo sviluppo urbano di Ferrara e l'evoluzione idrografica, sedimentaria e geomorfologica del territorio. In: "Ferrara nel Medioevo; topografia storica e archeologia urbana", Grafis, Bologna, 27-42.

BONDESAN M. (1990A) – L'area deltizia padana: caratteri geografici e geomorfologici. In: "Il parco del Delta del Po, studi e immagini". Volume 1: "L'ambiente come risorsa", Spazio Libri Editori, Ferrara, 10-48.

BONDESAN M. (1990B) – Le zone umide salmastre dell'Emilia Romagna: aspetti geografici e geomorfologici. In: "Aspetti naturalistici delle zone umide salmastre dell'Emilia Romagna". R.E.R., 23-56.

BONDESAN M. (1986) – Lineamenti di geomorfologia del basso ferrarese. In: "La civiltà comacchiese e pomposiana dalle origini preistoriche al tardo medioevo". Atti del Convegno Nazionale di studi storici di Comacchio 1984, Nuova Alfa Editoriale, Bologna.

BONDESAN M. (1985) – Quadro schematico dell'evoluzione geomorfologica olocenica del territorio costiero compreso fra Adria e Ravenna. Atti della Tavola Rotonda di Bologna "Il Delta del Po – Sezione Geologica", Accademia delle Scienze, 23-36.

BONDESAN M., CASTELLANI E. (1980) – Dati preliminari sulla neotettonica del F° 65 (Adria), 76 (Ferrara) e 77 (Comacchio). Contributi preliminari alla realizzazione della carta neotettonica dell'Italia, Pubbl. N. 356 del P. F. "Geodinamica", C.N.R., 657-703.

BONDESAN M., GIOVANNINI A. (1994) – Evoluzione geomorfologia della pianura costiera fra Codigoro e Comacchio (Ferrara). *Annali dell'Università di Ferrara, Sez. Scienze della Terra*, 5, 3.

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. (1990) – Analisi dei movimenti verticali del suolo avvenuti nel periodo 1970-78, lungo l'asta del Po ad Est di Polesella e nel Delta. In: "Po, AcquaAgricolturaAmbiente". Volume 2: "L'alveo e il Delta", Il Mulino, Bologna, 385-407.

BONDESAN M., MINARELLI A., RUSSO P. (1986) – Studio dei movimenti verticali del suolo nella provincia di Ferrara. In: "Studi idrogeologici sulla Pianura Padana", CLUP, Milano, 2, 1-31.

BONDESAN M., SIMEONI U. (1983) – Dinamica e analisi morfologica statistica dei litorali del Delta del Po e alle foci dell'Adige e del Brenta. Memorie della Società Geologica, 36, 1-48.

BURRATO P., CIUCCI F. & VALENSISE G. (2003) – An inventory of river anomalies in the Po Plain, Northern Italy: evidence for active blind thrust faulting. *Annals of Geophysics*, Vol. 46, N. 5, 865-882.

CAROZZO M. T., LUZIO D., MARGIOTTA C. & QUARTA T. (1986) - Gravity map of Italy, scale 1:500,000. C.N.R., Prog. Fin. Geodinamica. Quaderni de "La Ricerca Scientifica" n° 114. S.EL.CA., Firenze.

CASSANO E., ANELLI L., FICHERA R. & CAPPELLI V. (1986) – Pianura Padana. Interpretazione integrata di dati geofisici e geologici. Agip, Servizi Centrali per l'Esplorazione, Metodologie e Applicazione Geofisiche. 73° Congresso Soc. Geol. It., 29 settembre - 4 ottobre 1986, Roma.

CERRINA FERONI A., MARTELLI L., MARTINELLI P. & OTTRIA G. (2002) – Carta geologico-strutturale dell'Appennino emiliano-romagnolo in scala 1:250.000. Regione Emilia-Romagna – C.N.R., Pisa. S.EL.CA., Firenze.

CIABATTI M. (1966) – Ricerche sull'evoluzione del delta padano. *Giornale di Geologia*, 34, 381-405.

CNR (1992) - Structural Model of Italy, 1:500,000. Prog. Fin. Geodin. S.P. 5, Quaderni de "La Ricerca Scientifica" n° 114. S.EL.CA., Firenze.

C.N.R. - C.C.G.G., 1992. Carta Geologica d'Italia - 1.-50.000. Guida al rilevamento. Servizio Geologico Nazionale, Quaderni Serie III, 1, 203 pp.

COLOMBETTI A. & NICOLODI F. (2005) - Le sorgenti a bassa termalità di Quara (Comune di Toano – Provincia di Reggio Emilia). *Geologia dell'Ambiente – periodico della Soc. It. Geol. Amb.* Anno XIII, n. 1, 12-16.

CREMASCHI M., 1982. La Formazione fluviolacustre del Pleistocene inferiore-medio nel pedeappennino emiliano. In G. Cremonini, F. Ricci Lucchi (Ed.), *Guida alla Geologia del margine Appenninico-Padano*. Guida Geol. Reg., Soc. Geol. It., 145-149.

CREMONINI G., RICCI LUCCHI F, (editori), 1982. *Guida alla Geologia del margine appenninico-padano*. Guida Geol. Reg., Soc. Geol. It., 247 pp.

DALPASSO S. (1990) – Piano territoriale paesaggistico ambientale: delta del Po (dall'Adige al Volano). *Pubbl. Delta, Cesena*.

DI DIO G., VALLONI R., 1997. Unità di crescita nei sistemi alluvionali del tardo quaternario: la risposta dei corsi d'acqua ai cicli climatici ed ai movimenti tettonici. *Riassunti comunicazioni Convegno AIQUA: Tettonica Quaternaria dei Territorio Italiano*. Parma, 25-27 Febbraio, 159-160.

DONDI L., MOSTARDINI F., RIZZINI A., 1982. Evoluzione sedimentaria e paleogeografica nella Pianura Padana. In G. Cremonini, F. Ricci Lucchi (Ed.), Guida alla Geologia del margine Appenninico-Padano. Guida Geol. Reg., Soc. Geol. It., 47-58.

FAZZINI P. (1979)- Evoluzione recente della piattaforma adriatica in Memorie della Accademia Nazionale di Scienze, Lettere e Arti di Modena, Serie VI, Vol. XXI (Modena).

FERRARI M. (1996) – Inquadramento geologico – geomorfologico del settore nord-orientale della pianura ferrarese con particolare riguardo alla trasgressione olocenica. Tesi di laurea inedita, Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Ferrara, pp. 189.

FOLK R. L., 1968. Petrology of Sedimentary Rocks. Hemphill's, Austin TX, 170 pp.

ISTITUTO DI GEOLOGIA DELL'UNIVERSITÀ DI MODENA, (1978) – Metodologie e primi risultati di neotettonica nel modenese e territori limitrofi, in: "Mem. Soc. Geol. It", Roma, 19 p.

MASÈ G. (1983)- Aspetti geologico ambientali del territorio del comune di Bondeno (Ferrara). Annali dell'Università di Ferrara, IX, VII, (9), pp.109-131

MERLO C., BOATTINI E. & BENVENUTI G. (1988) - Space heating plant of the Bagno di Romagna municipality (Italy): a successful case of geothermal heat utilization. Geothermics, Vol. 17, No. 1, 237-253.

Mitchum.R. M., Vail P. R., Thompson S., III (1977) - The depositional sequence as a basic unit for stratigraphic analysis. In C. E. Payton (Ed.), Seismic Stratigraphy-Application to Hydrocarbon Exploration. Am. Ass. Petrol. Geol. Memoir 26, 53-62.

MUTTI E., 1990. Relazioni tra stratigrafia sequenziale e tettonica. Memorie Soc. Geol. It., 45, 627-665.

MUTTI E., DAVOLCG., TINTERRI R., ZAVALA C., 1996. The Importance of Ancient Fluvio-Deltaic Systems Dominated by Catastrophic Flooding in Tectonically Active Basins. Memorie Scienze Geologiche di Padova, 48, 233-291.

ORI G. G., 1993. Continental depositional systems of the Quaternary of the Po Plain (northern Italy). Sedimentary Geology, 83, 1-14.

ORI G. G., ROVERI M., VANNONI F., 1986. Plio-Pleistocene sedimentation in the Apenninic foredeep (central Adriatic Sea, Italy). In P. A. Alien, P. Homewood (Ed.), Foreland Basins. I.A.S. Spec. Publ. 8, 183-198.

ORI G. G., SERAFINI G., VISENTIN C., RICCI LUCCHI F., CASNEDI F., COLALONGO M. L., MOSNA M., 1991. The Pliocene-Pleistocene Adriatic foredeep (Marche and Abruzzo, Italy): an integrated approach to surface and subsurface geology. 3rd E.A.P.G. Conference, Fieldtrip Guidebook, 85 pp.

PERETTO R. (1986) – Ambiente e strutture antropiche nell'alto Polesine. In: "L'antico Polesine: testimonianze archeologiche e paleoambientali", Antoniana, Padova, 22-100.

PIERI M. & GROPPPI 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.

POSAMENTIER H. W., VAIL P. R., 1988. Eustatic Controls on Clastic Deposition, II: Sequence and Systems Tract models. In C. K. Wilgus, C. G. Kendall, H. W. Posamentier, J. C. Van Wagoner (Ed.), Sea level change-an integrated approach. S.E.P.M. Spec. Publ. 42, 125-155.

REGIONE EMILIA-ROMAGNA (2004) - Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli, "Carta Sismotettonica della Regione Emilia Romagna", a cura di Boccaletti M e Martelli L., Firenze.

REGIONE EMILIA-ROMAGNA (1999) - Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli, "Carta Geologica di Pianura dell'Emilia Romagna", scala 1:250.000. S.E.L.C.A., Firenze.

Regione Emilia-Romagna & CNR (2002) – Carta geologico-strutturale dell'Appennino emiliano-romagnolo, scala 1:250000. S.E.L.C.A., Firenze.

RER & CNR (1982) – Caratteri geoidrologici e geotermici dell'Emilia-Romagna. Programmi e prospettive per lo sfruttamento delle risorse geotermiche regionali. Regione Emilia-Romagna e Consiglio Nazionale delle Ricerche. Collana di orientamenti geomorfologici ed agronomico-forestali. Pitagora Editrice, Bologna, pp 177.

RER & ENI-AGIP (1998) - Riserve idriche sotterranee della Regione Emilia-Romagna. A cura di G. Di Dio. Regione Emilia-Romagna – ENI, divisione Agip. S.E.L.C.A., Firenze, pp 120.

SELLEY A., 1988. Applied Sedimentology. Academic Press, London, 446 pp.

UGGERI G. (1985) – L'insediamento antico del delta del Po. Atti della Tavola Rotonda di Bologna. "Il Delta del Po – Sezione Geoantropica", Accademia delle Scienze, Bologna.

VANNOLI P., BASILI R. & VALENSISE G. (2004) - New geomorphic evidence for anticlinal growth driven by blind-thrust faulting along the northern Marche coastal belt (central Italy). J. of Seismology, 8, 297-314

VEGGIANI A. (1985) – Il delta del Po e l'evoluzione della rete idrografica padana in epoca storica. Tavola Rotonda di Bologna. "Il Delta del Po – Sezione Geologica", Accademia delle Scienze, Bologna, 39-68.

VEGGIANI A. (1990) – Fluttuazioni climatiche e difesa del suolo nella pianura padana orientale tra i secoli XIV e XVII. In: Uomini, terra e acque, atti del XIV Convegno di Studi Storici di Rovigo.

PARTE TERZA

ASSETTO GEOMORFOLOGICO DELL'ALTO FERRARESE

10 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

10.1 Evoluzione geomorfologica regionale

11 L'ANALISI DELLE FORME

11.1 Metodi

11.2 Le forme del territorio

12 LA CARTA GEOMORFOLOGICA DELL'ALTO FERRARESE

13 BIBLIOGRAFIA PARTE TERZA

10 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

L'assetto geomorfologico del territorio è strettamente connesso al modello genetico della sua formazione.

In pianura le caratteristiche morfologiche principali sono senza dubbio legate all'evoluzione del sistema idrografico, che a sua volta viene condizionato dai caratteri climatici e dalle strutture geologiche del sottosuolo.

In particolare, per quanto riguarda la Pianura Padana si può dire che la sua genesi non è stata un fenomeno regolare in quanto si sono alternati nel tempo numerosi episodi di sommersione ed emersione provocati dalle fluttuazioni eustatiche del livello del mare, connesse alle variazioni climatiche. Ad ogni glaciazione, infatti, il livello del mare si abbassava (regressione) ed emergevano vaste pianure costiere destinate a venire nuovamente sommerse durante le fasi interglaciali, quando il livello del mare tornava ad alzarsi (trasgressione) e le grandi quantità di sedimenti trasportati dai fiumi colmavano le fasce marine litoranee, determinando un progressivo avanzamento della linea di costa (Ferrari, 1996). L'evoluzione della rete idrografica padana è ovviamente collegata alle suddette variazioni climatiche in quanto dal clima dipendono i processi geomorfologici di erosione, trasporto e sedimentazione dei fiumi.

L'ultima glaciazione würmiana ha praticamente cancellato tutte le tracce morfologiche o idrografiche preesistenti, rimodellando completamente la superficie della pianura. Possiamo dunque porre come data di nascita della configurazione attuale della Pianura Padana l'ultimo periodo postglaciale, durante il quale i corsi d'acqua, originati dallo scioglimento dei ghiacciai, scendevano verso valle con forte capacità erosiva e sedimentavano imponenti quantità di materiali.

E' pertanto corretto affermare che, l'attuale morfologia superficiale della pianura rivela con estrema chiarezza la storia idraulica più recente mentre, solo scendendo in profondità, si possono riconoscere le strutture geomorfologiche di età diverse dalla nostre, che un tempo affioravano, e che poi sono state ribassate dalla subsidenza e ricoperte da spesse coltri di sedimenti legati alle mutate caratteristiche degli ambienti deposizionali (funzione di dinamiche tettoniche intense, di mutamenti climatici e di spostamento dei corsi dei fiumi). Va qui sottolineato che, un grande aiuto alla lettura dell'evoluzione geomorfologica più recente del territorio di pianura deriva infine dalla datazione dei reperti archeologici rinvenibili nei corpi sedimentari più recenti.

10.1 Evoluzione geomorfologica regionale

Per quanti sin qui esposto, nel presente paragrafo si è deciso di descrivere soltanto le vicende che hanno interessato la Pianura Padana a partire dall'ultimo evento glaciale e che quindi sono leggibili sull'attuale superficie della pianura mentre verranno tralasciate le pregresse vicende (anche se altrettanto interessanti) dal momento che le loro testimonianze morfologiche non sono più leggibili sul territorio in esame.

L'ultima glaciazione, detta Würmiana (Pleistocene sup., 75000 – 10200 anni fa) ha determinato un abbassamento del livello marino di circa 110/130 metri, in conseguenza dell'immagazzinamento di acqua sotto forma di ghiaccio nei continenti; anche il mare Adriatico è stato sottoposto a questo processo, cosicché la sua linea di riva settentrionale si è venuta a trovare molto più spostata verso sud, all'altezza di S. Benedetto del Tronto, cosicché la piattaforma continentale dell'alto Adriatico divenne un'estesa piana alluvionale (Fig. 10.1).

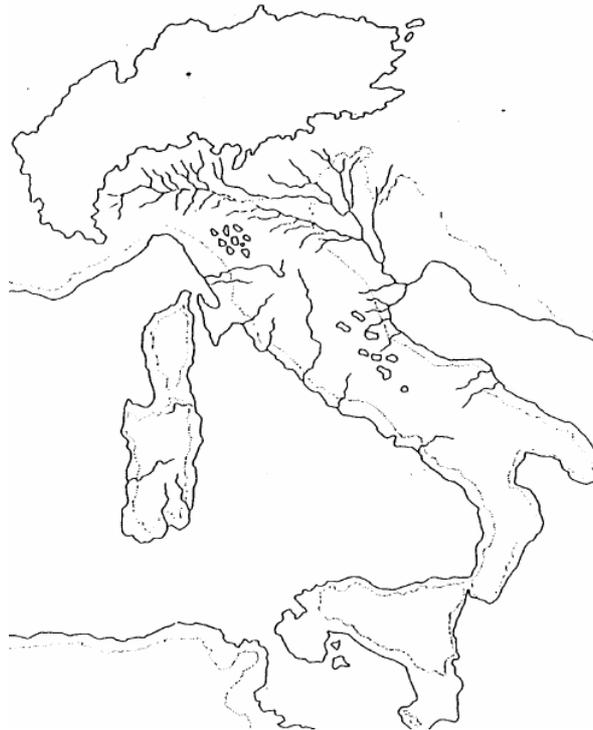


Fig. 10.1: Al culmine dell'ultima glaciazione la catena alpina appare completamente ricoperta dal ghiaccio; piccoli ghiacciai appenninici compaiono in corrispondenza delle cime più alte; la linea di costa ha un andamento sensibilmente diverso rispetto a quella attuale, con un aumento delle terre emerse (Fazzini, 1979);

Nella Pianura Padana, nel frattempo, si andava accumulando una gran quantità di detriti, provenienti sia dal settore alpino, trasportati dai ghiacciai e dai loro scaricatori, sia da quello appenninico, prodotti soprattutto da processi "periglaciali" su rocce facilmente erodibili e mal protette da una scarsa vegetazione.

Dopo quest'importante evento climatico si sono verificate altre variazioni del clima, seppure di ridotta entità, con una durata nell'ordine di secoli in cui si alternavano periodi a clima freddo e piovoso intervallati regolarmente da periodi caldi e miti (Fig. 10.2).

Queste variazioni climatiche minori, avvenute negli ultimi 10000 anni, hanno fortemente caratterizzato l'evoluzione della rete fluviale. Infatti, nei periodi di clima freddo e piovoso si aveva come caratteristica più importante lo spostamento da valle verso monte del cosiddetto "punto neutro", cioè quel tratto di alveo fluviale dove si ha il passaggio da prevalente erosione a condizioni di deposizione dei sedimenti a valle. A tali periodi hanno corrisposto maggiori erosioni sui rilievi con conseguente incremento del trasporto solido e relativa tendenza dei corsi d'acqua ad intasare di sedimenti la parte inferiore dei loro alvei e a dar luogo a fenomeni di esondazione. Sono così state più frequenti le deposizioni nell'entroterra, con maggiore estensione degli impaludamenti da acque dolci, e talora anche rapidi accrescimenti degli apparati deltizi e notevoli modificazioni delle linee di costa. D'altro canto, i periodi di clima più secco e stabile sono stati spesso caratterizzati da una relativa maggiore stabilità e semplicità della rete fluviale e da innalzamenti del livello marino, con parziali invasioni di acque salate e salmastre nelle aree più depresse prossime alla costa e con la tendenza delle coste stesse ad assumere forme più rettilinee (Ferrari, 1996).

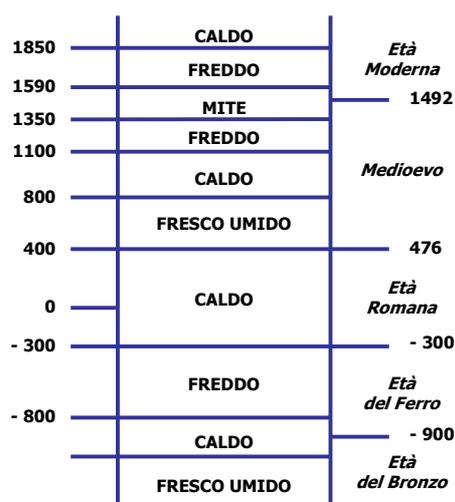


Fig. 10.2: Principali variazioni climatiche avvenute nel corso degli ultimi 3000 anni (modificato da Marco Bondesan, 1990)

Di seguito sarà descritta in dettaglio l'evoluzione idrografica e morfologica del territorio della bassa Pianura Padana negli ultimi 10.000 anni, in conseguenza dei suddetti cambiamenti climatici.

Con la fine del Pleistocene e l'inizio dell'Olocene (fine della glaciazione Würmiana) ebbe inizio di un periodo post glaciale noto come Trasgressione Flandriana o "Versiliana", che ha avuto il suo massimo circa 6.000 anni fa, in concomitanza con il cosiddetto "optimum climatico" dell'Olocene. La fusione generalizzata dei ghiacciai, portò ad un innalzamento del livello marino di circa 100 metri e ad una conseguente ingressione del mare nella piana alluvionale precedentemente formatasi.

Questa trasgressione ebbe la caratteristica di essere abbastanza veloce con uno spostamento graduale verso Nord della linea di costa ad una velocità di circa 20 metri/anno (Rizzini, 1974); il nuovo litorale adriatico si trovò quindi alcune decine di chilometri più a ovest dell'attuale, più o meno lungo una linea concava fra Adria e Ravenna. Di conseguenza, mentre nella pianura a occidente della nuova linea di costa continua la sedimentazione continentale, a oriente si passa da sedimenti continentali a sabbie costiere e sedimenti marini. Nel contempo il Po aveva un percorso situato molto più a sud di quello odierno. Plinio riferisce di un antico ramo del XX sec. a.C., denominato Messenico, che trovava foce nei pressi di Longastrino.

Da allora in poi la linea di riva si è via via spostata verso oriente, sia a causa di un lieve abbassamento del livello del mare, ma soprattutto per la progressione del delta in conseguenza del continuo accumulo di detriti trasportati dal Po e dai suoi affluenti; questo invece è via via migrato verso nord, in conseguenza principalmente di un maggior apporto detritico dei tributari appenninici. Il graduale migrare verso Est della linea di costa è testimoniato da una serie abbastanza continua di cordoni dunali litoranei di età storica e protostorica che attualmente, nella parte più occidentale, appaiono obliterati e sepolti da sedimenti più recenti, il cui spessore diminuisce progressivamente da Ovest verso Est (Ferrari, 1996).

Nell'età del Bronzo e fino a circa il X secolo avanti Cristo (Fig. 10.3), il Po era diviso in due rami: uno settentrionale (detto Po di Adria) coincideva con quello attuale fino a Sermide per poi proseguire nel polesine di Rovigo passando per Fratta Polesine, Villamarzana e Adria e raggiungere il mare presso Loreo; uno meridionale (detto Po di Spina), meno importante del precedente, che si staccava dal precedente all'altezza di Guastalla e passava nei pressi degli attuali paesi di Bondeno, Ferrara, Voghenza e

Gambulaga, con diverse diramazioni. I suoi affluenti di destra presentavano anch' essi tracciati diversi da quelli odierni: alcuni più spostati verso est, come il Crostolo, altri più a ovest, come il Secchia, altri invece confluivano nel Po, come il Reno. La corrispondente linea di riva adriatica era situata più o meno lungo la direttrice delle odierne località di Chioggia, Contarina, Codigoro, Spina e Ravenna.

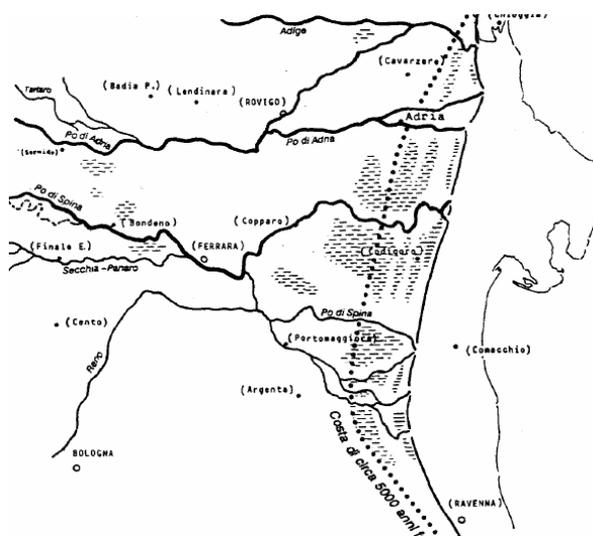


Fig. 10.3: La bassa Pianura Padana alla fine dell'Età del Bronzo, circa X secolo a.C. (Bondesan, 1990a)

A partire dal IX secolo a.c. un peggioramento climatico provocò un sovralluvionamento dei vari rami padani con relative e numerose esondazioni. Digne di nota e importanti per l'evoluzione dell'intera rete idrografica furono la rotta che si ebbe nell'area di Brescello-Guastalla che interessò il Po di Spina e la rotta di Sermide che segnò l'inizio della decadenza del Po di Adria e la nascita di un nuovo corso molto meandriforme per Calto e Stellata che dirigendosi verso SE originava la struttura del Poazzo nei pressi di Bondeno e confluiva presso Senetica nel Po di Ferrara che divenne il principale (il Padoa di Polibio e poi l'Eridano di Plinio). Una diramazione di quest'ultimo si sviluppava quindi per i luoghi in cui oggi sorgono gli abitati di Coppara e Berra, che in seguito verrà conosciuto come Olana (Fig. 10.4).

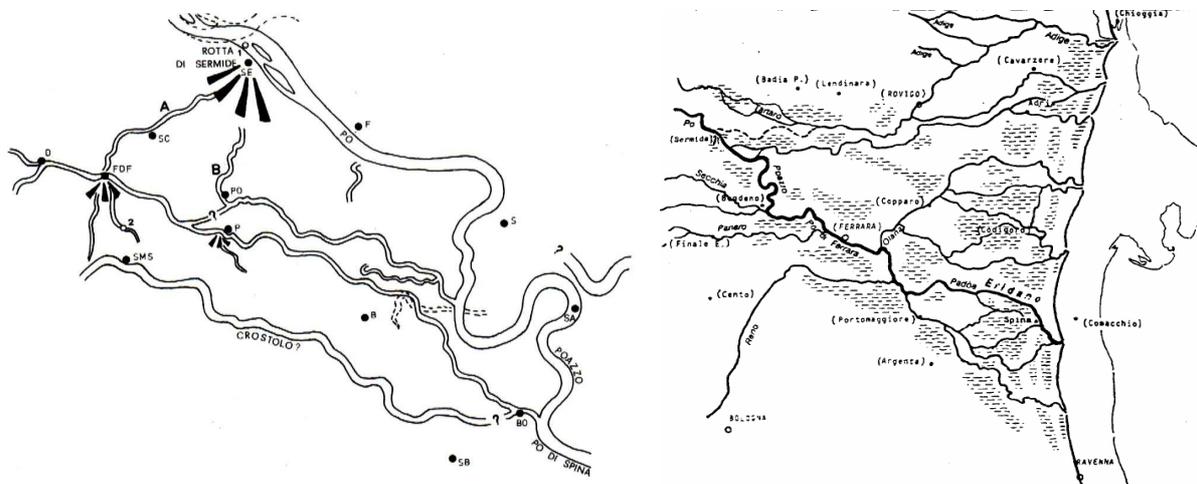


Fig. 10.4: A sinistra: la rotta di Sermide che ha creato il corso meandriforme del Poazzo; a destra: situazione del territorio in Età Etrusca, VI – IV secolo a.C. (Bondesan, 1990a)

I secoli che seguirono videro una situazione idrografica piuttosto compromessa, soprattutto nella parte occidentale del territorio bondenese, con ampie zone allagate e inadeguatamente drenate dai modesti corsi d'acqua. Il nuovo corso del Po, a seguito della costante perdita d'importanza dei rami secondari, si potenziò ulteriormente portando al conseguente taglio dei meandri del Poazzo per trovare una nuova conformazione che da Stellata, dopo una brusca virata verso sud, lo portò a Bondeno dove una volta ricevute le acque scolanti delle valli e quelle dell'ex Po di Spina si dirigeva verso Ferrara. Ancora nel I secolo d.C. la maggior parte delle acque si incanalava nel ramo del Po di Spina che, giunto nella zona di Ferrara, si divideva nei due rami sopra menzionati: il Padoa, più meridionale, e l'Olana, più settentrionale (Veggiani, 1985).

L'età romana è caratterizzata da un sensibile miglioramento del clima ("optimum climatico relativo" detto anche "romano") e quindi delle condizioni di stabilità del territorio; pur permanendo nel territorio diversi specchi palustri, le condizioni climatiche resero coltivabili anche le aree meno elevate. Il Po di Adria si deteriora ulteriormente, anche il Po di Volano diventa meno attivo, mentre si sviluppa maggiormente quello di Ferrara-Spina, che, "saltati" i meandri del Poazzo, ormai scende diretto fra Ficarolo, Bondeno e Cassana (Fig. 10.5). Gli affluenti appenninici del Po, a parte il Secchia, avevano in questo periodo un andamento più orientale rispetto a quello odierno.

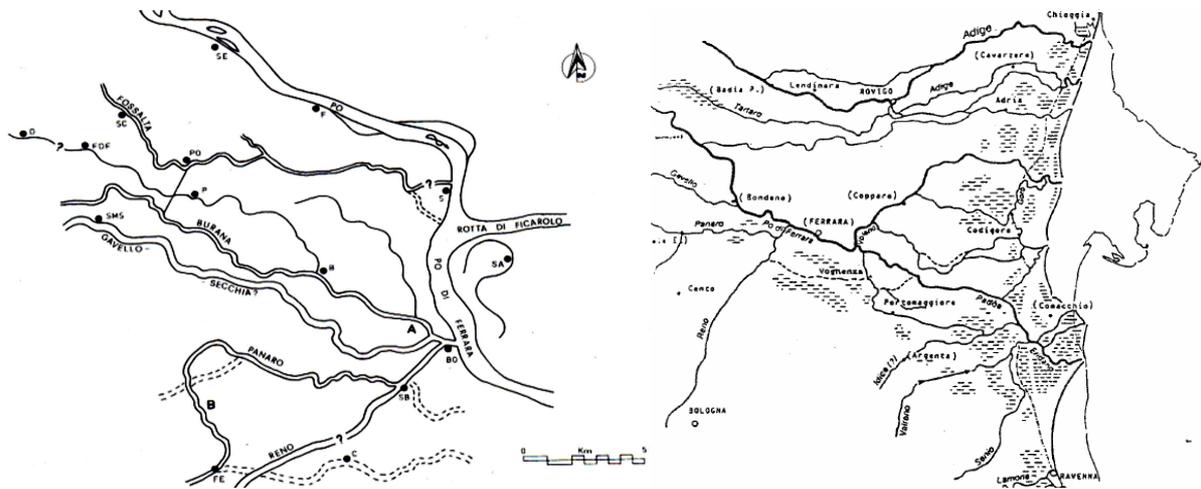


Fig. 10.5: A sinistra: il Po di Ferrara taglia i meandri del Poazzo; a destra: il territorio nella tarda Età Romana, fine III secolo d.C. (Bondesan, 1990a)

Nel 400 d.C. inizia un nuovo periodo freddo e intensamente piovoso, responsabile di notevoli dissesti idrogeologici per tutto il periodo bizantino e parte dell'alto Medioevo. Tale periodo fu caratterizzato da forti precipitazioni ed il corso principale del fiume Po era ancora quello di Ferrara, ma i cambiamenti della rete idrografica causarono una repentina perdita d'importanza del ramo di Voghenza con conseguente crisi di tutto il sistema dell'Eridano a vantaggio del Primaro e del Volano che divennero i principali rami deltizi.

Dopo il VI secolo d.C., in relazione a una nuova fase di intensa piovosità con dissesti idrologici, si produce una ulteriore diffusione delle paludi, e riprende l'accrescimento del delta di Massenzatica, per lo più attribuito all'attività di una diramazione dello stesso Volano, il Gaurus, forse già aperto in età classica. Per completezza è importante ricordare che nell'Alto Medioevo tale delta arriva a protendersi fino oltre la posizione di Mesola, condizionando la geometria del grande cordone litoraneo che diviene sede della via Romea e su cui ben presto sorgerà Pomposa.

Fra i secoli VII e VIII si estinse l'Eridano, ricordato poi come Padovètere (Alfieri, 1966), e i principali rami del Po divennero il Volano e il Primaro (Franceschini, 1986 e Bondesan, 1995). Presso la loro biforcazione nacque Ferrara, destinata a divenire, con il decadere di Voghenza, la città principale del territorio interno (Fig. 10.6).

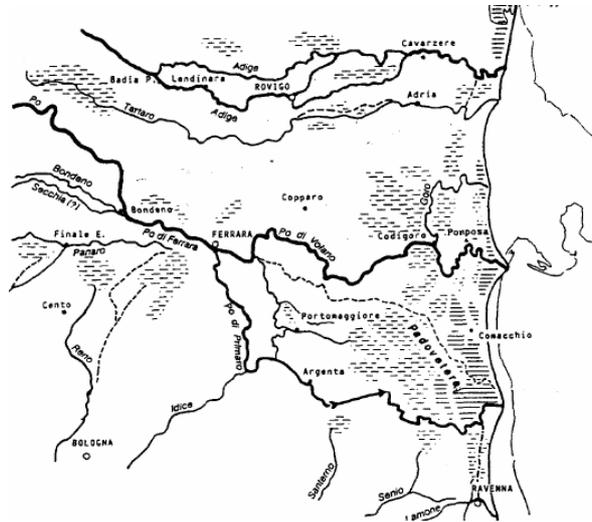


Fig. 10.6: Situazione intorno al IX – X secolo d.C. (Bondesan, 1990a)

Fra il 750 e il 1100 d.C. si verificano condizioni nettamente migliori, con un periodo caldo e secco, culminanti nel cosiddetto “piccolo optimum climatico recente” chiamato anche “ottimo climatico medioevale”. Sono di questo periodo: un generale rilancio dell’agricoltura nel territorio, l’uso di arginare i corsi d’acqua per impedire le periodiche inondazioni dei campi coltivati ed i primi tentativi di un razionale controllo idraulico sul territorio vallivo, probabilmente da attribuire ai monaci dell’Abbazia di Pomposa (VI – X secolo d.C.), anche se ovviamente i primi veri artefici della bonifica della bassa Pianura Padana sono da considerarsi i Duchi d’Este.

Nel 1152, all’inizio di un nuovo ciclo piovoso, si verifica un importante sconvolgimento: in seguito alla memorabile rotta di Luzzara e Ficarolo detta di “Siccarda”, le acque del Po prendono a defluire nell’alveo che ancor oggi le convoglia, per trovare sbocco a mare presso Fornaci, a nord di Donada, ove comincia ben presto a formarsi una nuova cuspide deltizia. La diramazione per Ariano si divide a sua volta in due rami: Po di Goro e Po dell’Abate mentre nell’area deltizia il Po di Adria viene definitivamente abbandonato (Fig. 10.7). Da allora si manifesta, con sempre maggiore evidenza nei secoli, la tendenza all’esaurimento del Po di Ferrara e dei suoi due rami deltizi principali, il Po di Volano ed il Po di Primaro. Man mano che il nuovo alveo (per Pontelagoscuro) si va ampliando, il Po di Ferrara ed 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. L'allontanamento del recapito pone progressivamente forti difficoltà di confluenza in Po sia al Reno che al Panaro tanto che nel XIII e XIV secolo essi spandono le loro alluvioni nelle valli di S. Giovanni, Cento e Finale Emilia. Tale condizione venne aggravata anche dalle inalveazioni di vari torrenti appenninici, che non avendo sbocco al mare, formavano un'ampia plaga di paludi malsane (Bondesan, 1995).

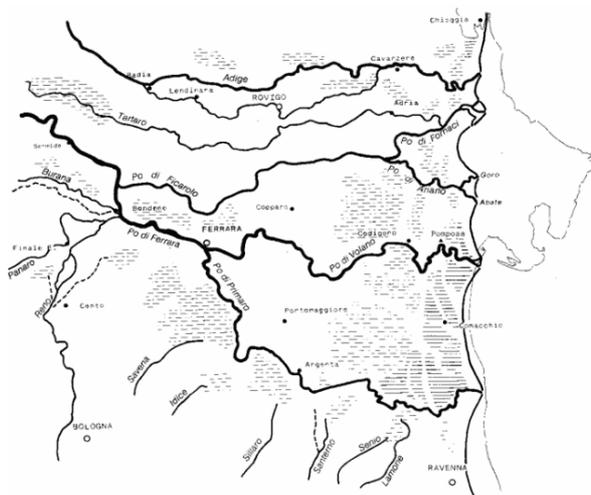


Fig. 10.7: Il territorio a metà del XIV secolo (Bondesan, 1990)

Nel 1459 il fiume Reno non trovando più una cadente sufficiente lungo il vecchio alveo, rompe le difese presso la confluenza del Samoggia, attratto da un nuovo corso più favorevole ad est della città di Cento (Fig. 10.8). Tuttavia il nuovo alveo del fiume Reno non riesce più a raggiungere il Po di Ferrara, ma disegna un ampio arco a sud della città estense, tra Vigarano e Buttifredo, piegando a ritroso e suddividendosi in "riazzi"; esaurisce infine la propria cadente spandendo nei territori vallivi di Poggio e Malalbergo, della Sammartina e Marrana, da cui inizia la colmata affiancato da numerosi altri corsi d'acqua minori.

Ancor oggi è riconoscibile l'area interessata dall'antico alveo del Reno, rimasta nettamente emergente rispetto alle campagne adiacenti, fenomeno favorito anche dalle opere di contenimento erette dall'uomo nel tentativo di difendersi dalle esondazioni: tale area si estende con regolarità dal punto di attuale confluenza del Samoggia nel Reno, prosegue poi verso nord, a ovest di Cento, e dirige infine verso il Panaro, nei

pressi di Finale Emilia, dopo aver attraversato i territori di Renazzo, Bevilacqua, XII Morelli e Alberane (Roversi, 1990).

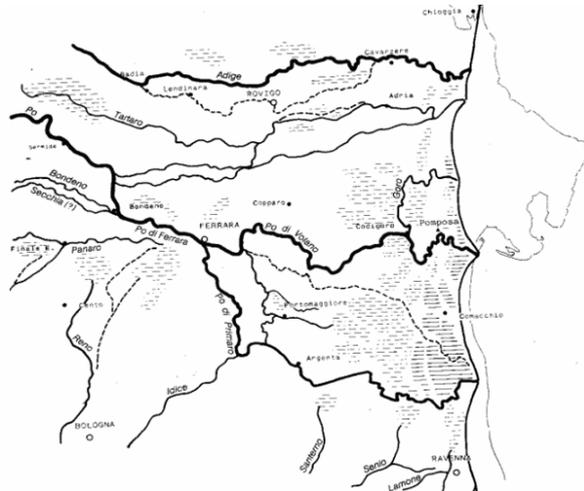


Fig. 10.8: Migrazione del fiume Reno dopo la rotta di "Siccarda" e divisione di Cento dalla Pieve dopo la rotta del Reno nel 1459 (Bondesan, 1990)

Si stava intanto verificando anche la risalita di acque marine nell'entroterra, ad occupare le aree maggiormente ribassate dalla subsidenza. Fu proprio in questo periodo che gli Estensi diedero luogo alla grande bonificazione delle terre intorno a Ferrara, sotto la spinta dell'aumento demografico che richiedeva nuovi spazi per l'agricoltura. Fra le prime grandi opere di bonifica condotte dagli Estensi, sono molto importanti quelle dei territori ad Ovest di Ferrara (bonifiche di Cavalle e della Diamantina), e a Sud (bonifica della Sammartina tra il 1473 e il 1500 con la costruzione dell'argine della Sammartina e con lo scavo del Cavo del Duca, defluente nel Primaro a Marrara), nonché la cosiddetta "grande bonificazione estense", attuata fra il 1564 e il 1580 nella zona compresa fra il Po di Volano e il Po Grande, a valle di Copparo (Bondesan, 1995). L'abbassamento del suolo, dovuto al costipamento dei terreni fortemente torbosi, conseguente alla bonifica, in pochi decenni rese inefficiente tale rete di drenaggio e su tutta la grande bonificazione tornò a dominare ben presto l'ambiente palustre (Bondesan, 1995).

La fine del XVI secolo segna anche la definitiva estinzione del Po di Ferrara (Fig. 10.9): esso è ormai talmente ingombro da sedimenti che non riesce più a convogliare neppure le acque del Panaro, le quali

sempre più di frequente, ne risalgono l'alveo, fra Bondeno e Ficarolo, per trovar recapito nel Po Grande (Bottoni, 1873). Il nuovo corso del Po oltre Fornaci, aveva intanto formato un complesso apparato deltizio, ed è proprio il timore che i sedimenti recati alla costa dalle foci più settentrionali di tale delta possano provocare l'occlusione delle bocche della laguna, che induce i tecnici veneziani a realizzare, fra il 1598 e il 1604, la deviazione verso sud-est del corso terminale del Po. Questa colossale opera, detta Taglio di Porto Viro, diede inizio alla formazione del delta attuale (Bondesan, 1995).

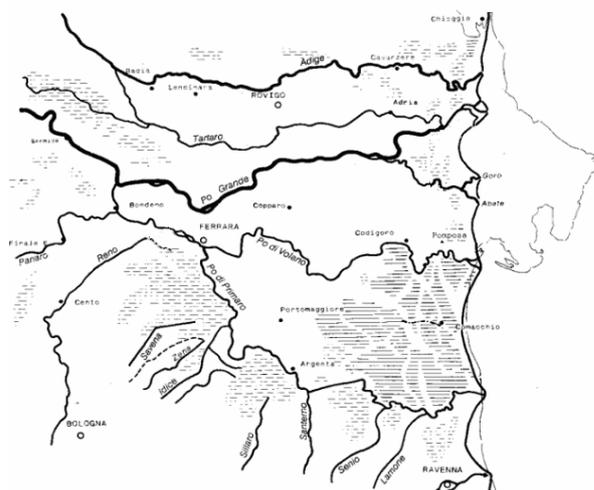


Fig. 10.9: Situazione tra XV e XVI secolo (Bondesan, 1990a)

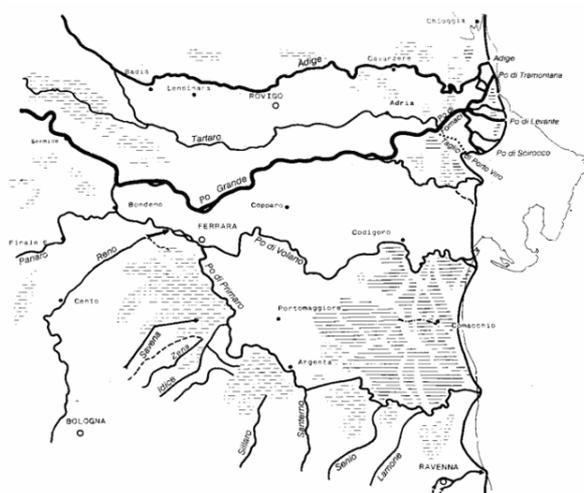


Fig. 10.10: Il territorio alla fine del XVI secolo (Bondesan, 1990)

Inoltre, 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 (Fig. 10.10). 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.

Sempre nel 1604 il Reno viene staccato dall'ormai inefficiente Po di Ferrara e ricondotto nelle paludi a sud della città di Ferrara (Fig. 10.11). Le alluvioni di questo fiume e di altri torrenti appenninici vengono sfruttate per ottenere la "colmata" delle ampie depressioni allagate individuate ai margini dei territori di Ferrara, Bologna e Ravenna. Viene così realizzata, in questa zona, soprattutto nei secoli XVII e XVIII, una grande opera di bonifica.

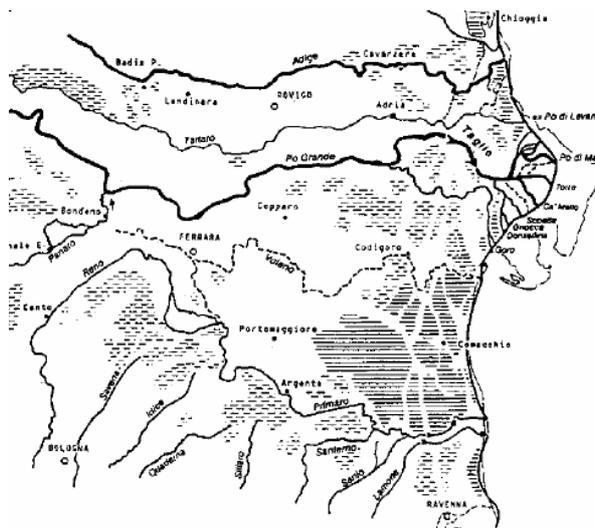


Fig. 10.11: Il territorio intorno al 1740 (Bondesan, 1990)

Nel secolo successivo, a colmata avvenuta (fra il 1724 e il 1771), con l'escavo dell'alveo artificiale alla Panfilia (presso Sant'Agostino), il fiume viene infine portato sull'attuale tracciato (che ricalca in gran parte il percorso dell'antico Po di Primaro). Intanto, il Po di Ferrara, ormai divenuto Poatello, viene adibito, assieme al Volano e al Primaro, alla raccolta di acque di scolo; in particolare, 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.

Nel secolo XIX la rete fluviale aveva ormai assunto l'assetto attuale, ma restava notevole l'estensione delle paludi, soprattutto nell'area tra il Volano e il Po Grande, comprendente l'ex grande bonificazione estense, e dei bacini salmastri quali le Valli di Comacchio (Fig. 10.12).

A partire dal 1850 prese così il via un secondo ciclo di interventi di bonifica, che furono realizzati attraverso l'uso delle idrovore. Tali operazioni di prosciugamento sono continuate per quasi un secolo, portando all'eliminazione della maggior parte delle zone umide; 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.

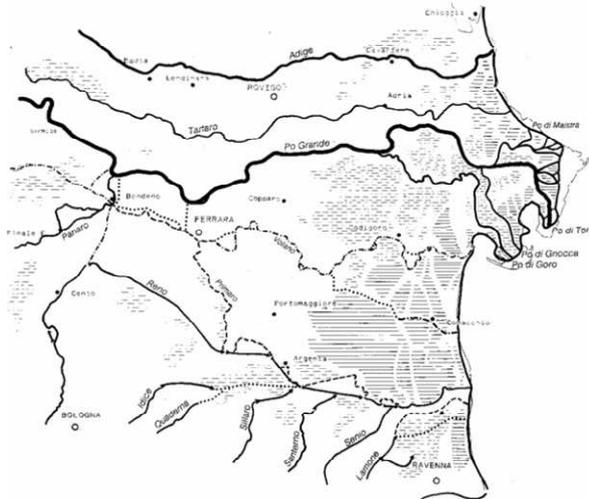


Fig. 10.12: Il territorio prima dell'introduzione della bonifica meccanica, situazione intorno al 1860 (Marco Bondesan, 1990)

Gli ultimi interventi di bonifica risalgono agli anni '60 del secolo scorso, quando il massiccio intervento sulla Valle del Mezzano (1964) e la bonifica della Valle Falce (1969) hanno ridotto le aree sommerse della provincia di Ferrara all'attuale estensione di 12000 ha, circa un quarto dell'estensione valliva di un secolo

prima (Ferrari, 1996). Dal punto di vista idrografico, dopo la grande piena del 1872, nella parte terminale del delta, il ramo più importante del Po diviene quello della Pila, a est di Porto Tolle, che fin verso gli anni Trenta ha creato un accumulo detritico di qualche chilometro a spese dell'Adriatico (Fig. 10.13). Successivamente la situazione si è invertita, non soltanto per il delta, ma anche per tutta la costiera romagnola. Tra le varie cause di questo fenomeno, due appaiono le più importanti ed entrambe imputabili all'uomo: la subsidenza e la diminuzione del carico solido fluviale.

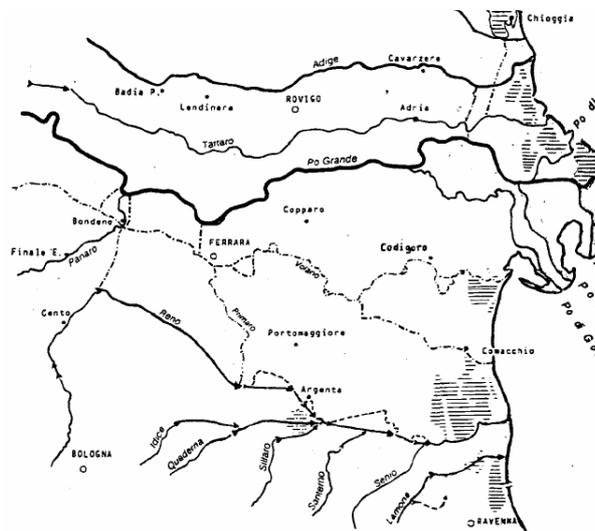


Fig. 10.13: Situazione dell'idrografia attuale (Bondesan, 1990a)

11 L'ANALISI DELLE FORME

11.1 Metodi

L'assetto geomorfologico di un territorio è deducibile dalle litologie in affioramento e/o subaffioramento, dagli assetti altimetrico-topografici, da rilievi di campagna e dalla fotointerpretazione. Quest'ultima, in particolare con l'ausilio dell'osservazione in stereoscopia, rappresenta certamente il mezzo più idoneo per ottenere cartografie rappresentative della distribuzione dei paleoalvei sul territorio; permette di visualizzare, infatti, un gran numero di vecchie aste fluviali, spesso non coeve.

Lo studio delle foto aeree di pianura consiste nell'identificazione di particolari tracce e sfumature che rispecchiano in superficie l'influenza di strutture naturali o antropiche sepolte. Il riconoscimento di queste tracce è possibile discriminando i diversi toni di grigio, se si tratta di foto B/N, che definiscono zone a diversa umidità, vegetazione o composizione del terreno, e con l'analisi delle forme (curvilinee, rettilinee) che possono indicare la presenza di paleoalvei. Le tracce chiare solitamente corrispondono a materiali con alto potere riflettente, ben drenati e quindi più facilmente asciutti, come possono essere le sabbie; le tracce più scure di solito corrispondono a materiali meno riflettenti e meno permeabili, quali per esempio i depositi argillosi e/o torbosi (Fig. 11.1).

L'osservazione dettagliata del terreno è stata rivolta a tre aspetti fondamentali del paesaggio strettamente connessi tra loro: idrografia, altimetria e morfologia; essa, con l'impiego di foto aeree, ha permesso l'identificazione e l'interpretazione di forme relitte, non rilevabili sulle carte topografiche e non riconoscibili sul posto, perché mascherate dalla vegetazione o dalle opere antropiche o perché parzialmente erose o sepolte.

Le forme relitte riconosciute e studiate sono soprattutto paleoalvei e paleo "valli". I primi si riferiscono a letti o argini fluviali non più attivi, individuabili, ove non corrispondenti a dei dossi, attraverso variazioni cromatiche o morfologiche del terreno (es: strutture ad essi associate come le migrazioni dei meandri ed i ventagli di rotta). Le seconde rappresentano aree depresse collegabili ad antiche conche di decantazione di piene o ad aree golenali. Nella figura seguente si possono apprezzare le innumerevoli tracce geomorfologiche che si leggono sul territorio dalle foto aeree.

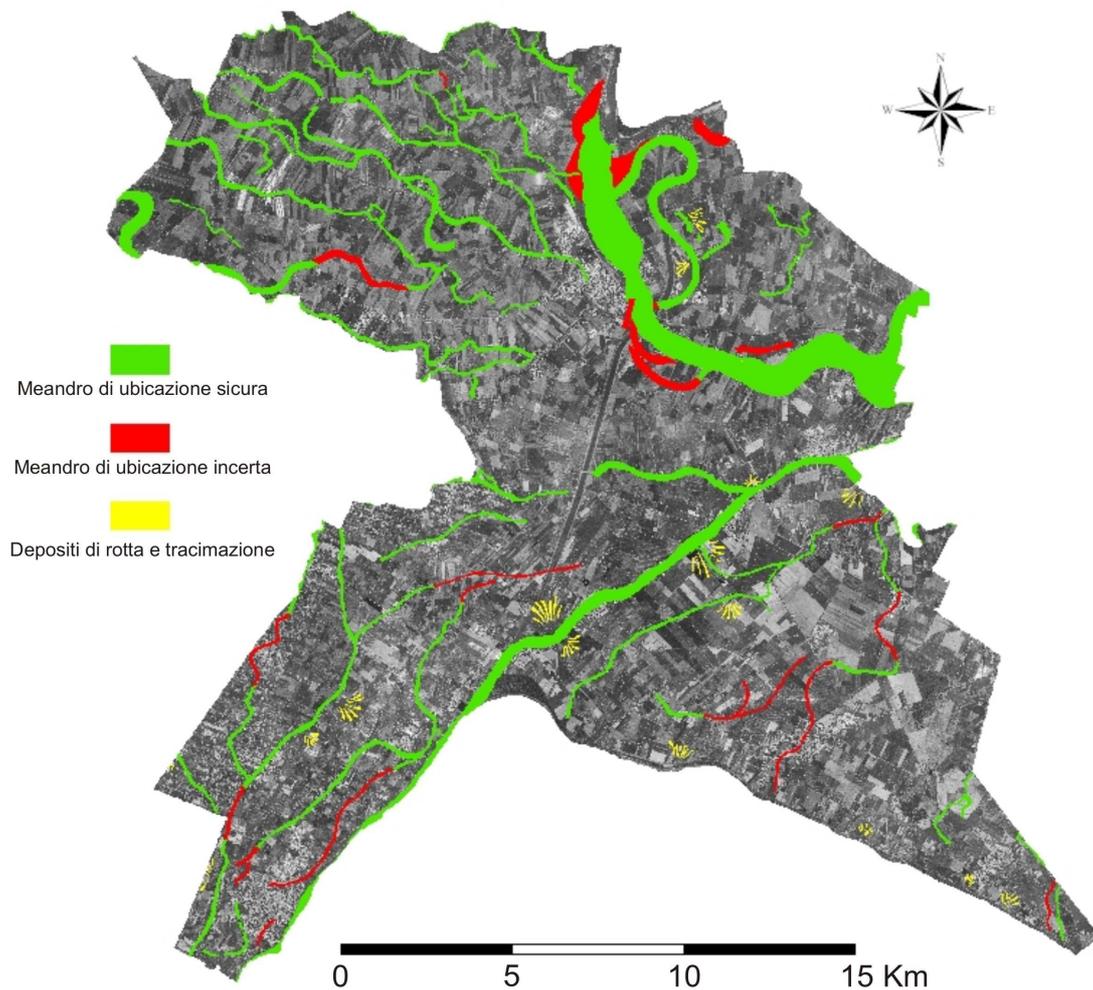


Fig. 11.1: Principali elementi geomorfologici dell'area dell'alto ferrarese

11.2 Le forme del territorio

La formazione dell'ambiente, nella sua configurazione attuale, è relativamente recente e consegue a ripetute variazioni dei rapporti di equilibrio tra livello del mare, apporti solidi dei corsi d'acqua, entità di subsidenza e, non ultimo, l'intervento umano. In particolare, ogni struttura geomorfologica che riconosciamo

sulla superficie del suolo è conseguenza della facies deposizionale in cui i sedimenti si accumulavano e quindi è funzione dell'entità dell'energia idrodinamica che ne ha depositato i litotipi.

I corsi d'acqua, infatti, tendono a depositare i sedimenti più grossolani in prossimità dell'alveo, mentre quelli più fini, mantenuti in sospensione, sono depositati molto più lontano. I sedimenti grossolani hanno come caratteristica la minor costipabilità rispetto a quelli fini e questo comporta che gli alvei tendono a sopraelevarsi sempre di più rispetto alle zone limitrofe; oltre a questo in corrispondenza degli alvei il maggior tasso di sedimentazione riesce a compensare la subsidenza al contrario di quello che succede nelle zone di catino interfluviale. Questa peculiare modalità di messa in posto della rete fluviale ha determinato situazioni di grande precarietà, infatti, il fiume una volta raggiunta una certa elevazione sul territorio circostante, durante una piena poteva abbandonare il vecchio alveo e trovare una nuova via verso il mare attraverso terre più basse. In questo modo si venivano a formare, fra un fiume e l'altro, dei bacini chiusi, che venivano raggiunti dalle acque solo sporadicamente, in occasione di piene eccezionali. Le acque che arrivavano in queste aree trasportavano detrito molto fine, per lo più argilloso o argilloso-limoso, e quindi la sedimentazione era lenta e avveniva per decantazione, all'interno di aree paludose con acque stagnanti. Una volta che l'acqua spariva completamente (per evaporazione o infiltrazione), cominciava il costipamento dei terreni (a volte anche torbosi) che provoca una subsidenza indotta con ulteriore aumento di dislivello rispetto ai dossi allungati e sabbiosi, relativi ai paleoalvei.

Proprio a causa dei meccanismi della sedimentazione sopra descritti, nelle aree di pianura agli alvei attivi di antica origine e ai paleoalvei da tempo esauriti, corrispondono di norma i dossi, che si trovano in condizioni altimetriche di rilevato e che sono caratterizzati da terreni di tessitura granulometrica più grossolana e quindi con caratteristiche geomeccaniche migliori; diversamente, alle zone un tempo vallive e ai bacini di colmata corrispondono di norma aree in condizioni di depressione, che sono caratterizzate da terreni di tessitura granulometrica più fine.

In particolare, i fiumi che percorrono la Bassa Pianura Padana sono generalmente caratterizzati da alvei a letto sabbioso, con i diametri medi del sedimento che tendono a diminuire andando verso la foce, e da basse pendenze del letto, con valori che raggiungono lo 0.2 ‰. La situazione più tipica del tratto di pianura della provincia di Ferrara (Fig. 11.2) presenta alvei e paleoalvei generalmente sabbiosi, ben drenanti, con buone capacità portanti e con argini naturali sopraelevati (poiché è proprio a ridosso del punto di rotta che durante le tracimazioni si depositano la maggior parte dei sedimenti, in seguito alla brusca diminuzione di energia idrodinamica).

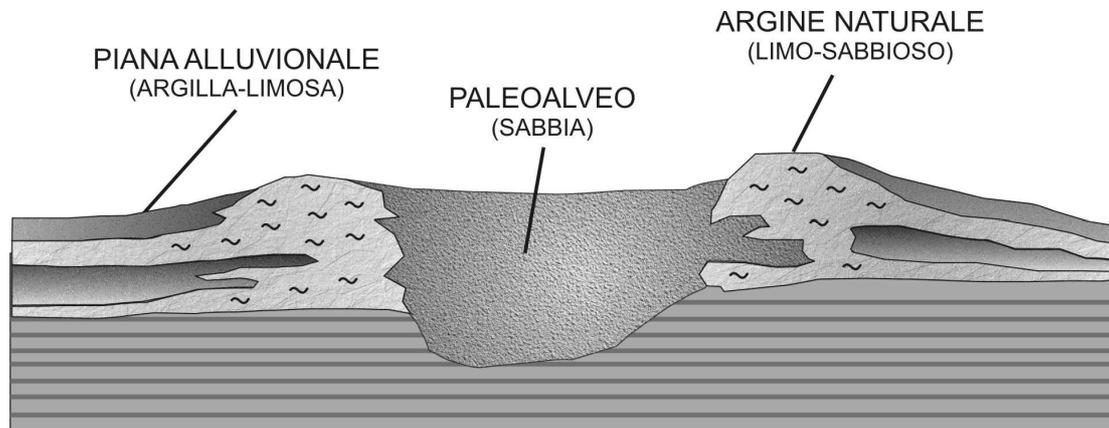


Fig. 11.2: Sezione schematica di un paleoalveo

Nell'attuale configurazione fisica del territorio in esame, tali strutture sono molteplici ed hanno una distribuzione spaziale fortemente eterogenea, a testimoniare la complessa evoluzione naturale. Tra le più evidenti e più importanti nel disegnare l'assetto morfologico si possono elencare (Castiglioni e Pellegrini, 2001):

Paleoalvei: rappresentano l'antico letto di un corso d'acqua ed hanno una morfologia molto varia. Nella bassa pianura ricorre più frequentemente la forma di alveo largo ad isole che è diffuso in genere sulle alluvioni sabbiose e che s'individua frequentemente attraverso due tipologie: i paleoalvei non dossivi o secondari che possono essere sepolti, con corso tipico meandriforme, con poco o nessun dislivello dalla campagna adiacente ed i paleoalvei dossivi che si possono presentare rilevati dalle campagne circostanti a causa del fenomeno di inversione del rilievo (indotta dalla subsidenza differenziale), ma non sempre sono cartografabili come tali nelle foto aeree, essendo il dislivello modesto e difficile da apprezzare anche in visione stereoscopica. I paleoalvei dossivi sono spesso più antropizzati delle circostanti valli: essendo zone alte e ben drenate, furono la sede preferenziale di strade ed insediamenti e spesso al loro interno l'orientamento dei campi coltivati di un si adatta all'andamento tortuoso dell'alveo, in discordanza con la parcellazione delle aree circostanti (PELLEGRINI, 1969).

Nei paleoalvei, laddove si rilevano sabbie in affioramento (testimoni di ambienti deposizionali di alta energia idrodinamica che hanno avuto riempimento attivo) è logico aspettarsi anche in profondità, per diversi metri, la presenza di sabbie.

Depositi di tracimazione: sono tipici di lunghi tratti di argine fluviale, e raccordano morfologicamente i paleoalvei dossivi con le basse pianure circostanti. Sono generalmente strutture geomorfologiche costituite da sabbie limose, limi, limi argillosi, a seconda della distanza dagli argini da cui sono tracimate le acque.

Depositi di rotta fluviale: se concentrate in un'area abbastanza ristretta, le tracimazioni di un corso d'acqua danno origine a strutture dalla forma triangolare costituite da linee sottili sinuose più chiare e più scure legate al formarsi e al canalizzarsi dell'acqua in corsi temporanei, con deposizione di materiali diversi in funzione della distanza dal vertice, a causa del brusco calo dell'energia idrodinamica delle acque che trasportano le torbide del fiume, una volta che si sono aperte un varco nel sistema arginale (depositi di crevasse, o ventagli di rotta). Se il fenomeno che ha generato la rotta è persistente si possono formare dei veri e propri canali di rotta di durata mutabile dotati di un alveo ben definito. Questi hanno l'aspetto di paleoalvei, sono più ridotti del corso d'acqua dal quale traggono origine e rispetto a questo hanno generalmente un andamento trasversale e una lunghezza modesta. Solo in rari casi per un canale di rotta può venir convogliata permanentemente parte delle acque di un fiume così da originare una variazione dell'originario percorso. In corrispondenza di depositi di rotta, a ridosso di fiumi o paleoalvei, si possono rilevare sabbie in affioramento, che difficilmente possono avere in queste zone, spessori significativi, in quanto per la sedimentazione nei paleoalvei l'alimentazione si è protratta per molto tempo, mentre in corrispondenza dei depositi di rotta (o crevasse) l'alimentazione di sedimenti è stata occasionale.

Scarpate morfologiche: contraddistinguono aree di transizione netta tra ambienti deposizionali diversi. Sono spesso localizzate in quei tratti di argine fluviale dove per lungo tempo non si sono verificate rotte o tracimazioni cosicché il dislivello tra paleoalvei dossivi e bacini interfluviali si è conservato integro.

Catini interfluviali: si tratta di aree con discreta estensione, racchiuse tra le innumerevoli tracce di paleoalvei principali e minori. Sono caratterizzate da sedimenti da fini a finissimi e talvolta presentano tracce di materia organica.

Forme antropiche: quali argini fluviali, tratti artificiali d'alveo, argini e terrapieni interni al territorio, canali attuali e canali abbandonati, parcellizzazione agraria. In particolare, l'analisi del reticolo idrografico consente di cogliere le differenze nell'organizzazione degli scoli minori, funzione dell'organizzazione agraria, a sua volta determinata dalle preesistenze strutturali e morfologiche. Nell'area in esame, con le emergenze morfologiche coincidono abitualmente zone per lo più orientate in senso NW-SE di antica sistemazione agraria (forse romana), il cui reticolo definisce aree quadrate spesso interrotte da un reticolo diverso, definente piccole aree rettangolari allungate nella direzione della pendenza e corrispondente alle aree di più recente bonifica (paludi medioevali ed oltre). Il mosaico regolare dei drenaggi irrigui è tagliato da corsi d'acqua sinuosi, interrotti e smembrati da canali artificiali, che sono interpretabili spesso come tracce di antichi alvei. Un andamento nastriforme della parcellizzazione nettamente discordante con l'orientazione delle vicine aree, segnala in genere la presenza di un paleoalveo.

12 LA CARTA GEOMORFOLOGICA DELL'ALTO FERRARESE

I principali strumenti utilizzati per la costruzione della carta geomorfologica sono stati l'analisi del microrilievo, la carta clivometrica e lo studio fotointerpretativo (cfr stralcio di Fig. 11.1).

I dati ottenuti da questi mezzi di indagine sono poi stati validati con le informazioni raccolte da carte preesistenti, sia morfologiche (Carta Geomorfologica della Pianura Padana 1:250.000, M.U.R.S.T. 1997; Carta Geomorfologica 1:10.000 fornita dall'Amministrazione Provinciale di Ferrara) che litologiche (Carta Geologica di Pianura 1:250.000, RER 1999; Carta della litologia di superficie 1:10.000 fornita dall'Amministrazione Provinciale di Ferrara) e dalla consultazione dei numerosi dati bibliografici sulla zona sia in campo geologico-geomorfologico sia in campo archeologico-storico (Bartolomei 1975; Bondesan 1995; Calzolari 1986; Castaldini 1996; Cremonini 1987; Ferri 1985 e 1988; Guidorzi 2002; Mantovani 1887; MURST 1997; Paglia 1879 e Pellegatti 1990).

Lo studio e l'interpretazione della carta geomorfologica così ottenuta (B2.1 a scala 1:40.000, B2.1N e B2.1S a scala 1:25.000), risultano piuttosto complessi in quanto essa è costituita da un groviglio fitto di tracce di paleoalvei che si sono intersecati e sovrapposti nel tempo e che sono per giunta stati alterati dall'intervento dell'uomo sul territorio. Non è semplice quindi riconoscere e ricostruire gli allineamenti fisici e morfologici originari ed anche molti 'fenomeni ambientali' che si verificano attualmente sono di difficile interpretazione, essendo spesso dipendenti o comunque connessi all'intervento dell'uomo sull'ambiente.

Comunque, una prima interessante osservazione che può essere compiuta è che il territorio in esame risulta dominato da un lato da fasce di terreno particolarmente elevate (12/14 m s.l.m. per i paleoalvei dossivi del PaleoPo e del PaleoReno; 9/11 m s.l.m. per i paleoalvei dossivi di corsi d'acqua secondari) ben riconoscibili in corrispondenza dei corsi fluviali attuali ed estinti, e dall'altro da varie zone depresse e bacini interfluviali (3/6 m s.l.m.).

In particolare, la zona dell'Alto Ferrarese è attraversata da Sud fino alla zona centrale da una complessa rete di dossi, spesso molto pronunciati, legati in prevalenza alle continue diversioni dell'alveo del Reno succedutesi nei secoli, ed intervallati da aree di depressione relativa; mentre, la parte Nord ed Est è caratterizzata da zone di altitudine media con una depressione pronunciata (fino a 3 m s.l.m. nella Diamantina).

Si può inoltre notare come tutta la rete fluviale attuale ed antica e specie gli elementi morfologici dossivi hanno un andamento sinuoso ed un orientamento generale WNW-ESE cioè subparallelo alle strutture

tettoniche profonde della Dorsale Ferrarese, e questo soprattutto nella parte più occidentale dell'area di studio, mentre nella parte centro-orientale hanno una direzione prevalentemente N-S, a testimonianza del condizionamento della tettonica profonda sull'evoluzione dei corsi d'acqua.

Tra i paleoalvei principali, cioè quelli che hanno un'estensione laterale e longitudinale maggiori, e la cui ubicazione è considerata certa, si riconoscono:

Po

Il fiume Po limita l'area di studio a Nord e N-E e s'ipotizza che avesse un corso più meridionale dell'attuale, ciò è evidenziato da tracce di strade che paiono delimitare un'area golenale più ampia dell'attuale, verso Sud (Ferri, 1985).

Po di Ferrara

L'ampio paleoalveo del Po di Ferrara 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). Esso si distacca dal Po attuale all'ansa di Stellata e con andamento N-S prosegue fino a Settepolesini e piega ad Est verso Ferrara passando per Vigarano Pieve. Questa struttura, che ospita l'attuale corso del Panaro da Bondeno al suo sbocco in Po, rappresenta l'area più importante per estensione e spessori di sedimenti sabbiosi nel tratto tra Stellata e Bondeno. Essa 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 s.l.m. mentre l'ampiezza trasversale supera talora il chilometro.

Poazzo

Ad Est del Panaro si individua la traccia del paleoalveo del Poazzo (presumibilmente di Età Etrusca) che ha come particolare caratteristica un andamento meandriforme molto sinuoso e denota un'orientazione specifica dei campi coltivati che si trovano in prossimità del paleoalveo e quote altimetriche, variabili da 7 a 9 metri s.l.m., superiori a quelle delle aree circostanti. Nella sua parte più riconoscibile, l'estensione di questo corpo va dal limite orientale del Panaro in prossimità della località Rotta delle Vezze, per poi seguire la strada comunale 19FE verso Nord-Est passando per i paesi San Biagio e Salvatonica. Da qui il suo corso si dirige verso Sud coincidendo con l'attuale Scolo Poazzo quindi interseca per due volte il Cavo

Napoleonico nelle adiacenze delle possessioni “La Madonna” e “Tagliapietra” prima di dirigersi verso l’abitato di Settepolesini dove sono ben evidenti le tracce dell’ampio paleoalveo con meandri abbandonati e linee di flusso di una conoide di esondazione presso Cà Rossa; nei pressi della località La Crocetta, il Poazzo si raccorda al corso del Po di Ferrara del quale è stato sicuramente l’antesignano nel tratto tra Stellata e Genetica (Mazzucchelli 1980).

Ad occidente del Panaro le tracce del Poazzo sono ancora presenti, anche se non così evidenti come quelle precedentemente descritte; tuttavia si possono ancora osservare le sue tracce che dai pressi di Quatrele raggiungono, sempre con un andamento sinuoso, l’Argine del Lupo rimanendone poco discosto. Da questa località il paleoalveo raggiunge la località Malcantone da cui poi, con ampio meandro, raggiunge il paleoalveo del Po di Ferrara nei pressi della località Arginone.

Nel territorio sono riscontrabili anche vari paleoalvei secondari non dossivi, ventagli e canali di rotta, che si dipartono da tale struttura principale; tra cui:

- il paleomeandro individuato nelle adiacenze di Ravalle risulta essere non dossivo, da cui si stacca un paleoalveo con direzione N-S di forma tendenzialmente rettilinea che giace esattamente sotto la strada comunale 19FE che unisce i paesi di Ravalle e Casaglia.
- il Meandro di Cassana, ad Ovest di Ferrara.
- a Nord di Porporana è individuabile un grosso paleoalveo meandriforme con strutture più o meno oblitrate dall’alveo attuale del Po (Ferri 1988).
- il paleomenandro di Cassana, che rappresenta un vecchio meandro del Po e si trova a NW di Ferrara, si stacca dal Po di Ferrara nei pressi di Vigarano Pieve per poi ricongiungersi poco dopo l’abitato di Porotto; in questo intervallo si ha la grande ansa con all’interno varie tracce della migrazione del meandro. Le prove dell’esistenza di questo meandro sono date dai ritrovamenti dei resti di una villa romana del I-II secolo d.C., la quale ci indica l’esistenza di un corpo sopraelevato rispetto alle aree circostanti (Ferri e Giovannini, 1997), e da alcuni sondaggi effettuati per aggiornare il P.A.E del P.R.G. del comune di Vigarano dai quali si verifica la presenza di un consistente e subaffiorante strato sabbioso nei primi 10-15 metri.

Va qui ricordato che sulle strutture sopradescritte sono impostate: l’ampia cava di sabbia di Settepolesini, nella sua parte più settentrionale del Poazzo e le cave di Fondo Casino e Fondo Sbarra sulle sabbie del Meandro di Cassana.

Vecchio Reno

Si tratta di un paleoalveo, o per meglio dire di un "paleodelta", formato dal Reno tra il XVII e il XVIII nei territori a Sud di Ferrara; questo elemento geomorfologico si estende da Nord a Sud nella parte centrale dell'area di studio e supera i 10 m s.l.m. E' anche riconoscibile l'area interessata dal Reno in epoca ancora più remota (XIII e XIV): essa si estende con regolarità dal punto di attuale confluenza del Samoggia nel Reno, prosegue poi verso Nord, a Ovest di Cento, e dirige infine verso il Panaro, nei pressi di Finale Emilia, dopo aver attraversato i territori di Renazzo, Bevilacqua, XII Morelli e Alberone (Roversi, 1990).

Ben riconoscibile è anche il dosso del "riazzo del Gallo", ramificazione del corso del Reno formatosi nei secoli XVII e XVIII. Inoltre, la cava di sabbia fine, non più attivata, di Poggio Renatico, si trova praticamente a cavallo tra due paleoalvei minori del Reno.

Fossalta - Scolo di Felonica

Questo sistema di canali di scolo sistemati con interventi antropici, interessa solamente la porzione più orientale del territorio di Bondeno; partendo dal territorio sermidese la Fossalta taglia due strutture con argini naturali interpretabili come canali di rotta (dossi S. Croce e della Roversella) che si distaccano dalla conoide della "Rotta di Sermide" e attraversano con andamento sinuoso la campagna per vari km, il primo in direzione NE-SW fino alla località Fienil dei Frati, il secondo con direzione circa N-S fino a Porcara. Da qui, attraverso un canale allacciante, la Fossalta è congiunta allo scolo di Felonica che, con andamento E-W, corre circa parallelo al Po fino alla località Quatrelle. Verso SE invece si diparte l'attuale Diversivo della Fossalta fino alla località Argine del Lupo (Ferri, 1988).

Porcara - Argine Campo - Ponti Di Spagna - Argine Prevido

Dalla località Porcara si individua una via alzaia ben conservata che va in direzione NW-SE affiancata ad un fosso che, con un andamento a stretti meandri, costeggia una serie di terreni posti a quote più elevate. Dalla località La Pedocca questa strada assume il nome di Argine Campo e borda a Sud un'ampia area valliva detta Il Campo. Nei pressi della Fossa Lata la traccia del paleoalveo piega verso Sud mantenendosi poi per un tratto parallelo alla stessa Fossa fino alla località Ponti di Spagna, coincidendo per qualche tratto con la via alzaia. Superato il Canale Pilastresi, la traccia del paleoalveo segue l'andamento della via Argine Prevido fino al Canale Burana (Ferri, 1988).

Dosso del Dragoncello

Questa diramazione secondaria del canale dominante di Poggio Rusco, ha dimensioni di poco inferiori al corso d'acqua dominante, la cui importanza deriva dalla localizzazione del suo tratto più orientale, che giungeva a lambire la risalita verso NE del paleoalveo di Stoppiaro in vicinanza di Pilastrì. Nei pressi di Fienil dei Frati presenta in destra orografica una conoide di rotta, ben visibile anche nella carta del microrilievo associata a due canali di rotta con andamento circa N-S, lunghi quasi 2 km (Ferri, 1988).

Dosso di Pilastrì

In località Pilastrì la traccia del dosso del Dragoncello appare proseguire e coincidere con la strada e il fosso Scolo Bondiolo che congiungono Pilastrì con la località La Rangona. Sempre presso Pilastrì, in destra orografica, si ha una chiara struttura di rotta associata ad un breve canale, mentre in sinistra le foto aeree e il microrilievo mostrano la traccia piuttosto incerta di un ampio paleoalveo della Porcara (Ferri, 1988).

Canale di S. Martino – Burana - Bondeno

Questa struttura molto importante risultava essere un canale di bonifica delle acque delle tre province di Modena, Mantova e Ferrara. E' semplice da riconoscere anche in una carta topografica in quanto coincide, ai limiti occidentali del territorio in esame, col canale di S. Martino dove taglia i due canali di rotta provenienti da Nord, dalla località Fienil dei Frati. Poi per un tratto il paleoalveo coincide col canale Rusco fino a Burana, tagliando a più riprese l'attuale canale collettore della bonifica (Cavo Mantovano), dunque, da Burana a Bondeno coincide con il corso naturale meandriforme del Canale Burana stretto fra due argini fino al capoluogo. Sono state inoltre rilevate le tracce di due paleoalvei sinuosi piuttosto ampi con argini rettilinei e regolari, a testimonianza di un sistema antropico di sistemazione idraulica. Dalla località La Terzana sulla strada Pilastrì-Burana il primo di tali canali si dirige a Sud verso il sito Terzanella sul Cavo Mantovano, poi piega ad Est, e ricevuto il secondo ramo, mantiene una direzione E-W, piegando poi leggermente in direzione di Burana, dove le tracce si perdono: probabilmente si tratta di canali di bonifica costruiti sfruttando dei preesistenti corsi d'acqua naturali (Ferri, 1988).

Dosso del Gavello

Rappresenta la morfologia più significativa della bassa pianura modenese-ferrarese, ben visibile nelle foto aeree con un andamento parallelo di vie alzaie associate a tracce più chiare dei terreni circostanti e riferibili agli argini naturali del paleoalveo. La struttura è evidenziata anche dal microrilievo poiché rappresentata da una striscia continua di terreni più alti rispetto alla campagna circostante. A valle della località S. Martino Spino, il paleoalveo proveniente da Gavello compie una curva molto ampia e dopo aver superato Villa Gavello (Ferrara) coincide con l'attuale Scolo Gavello, riconosciuto come rettilineo di un antico paleoalvei, e, per l'ultimo tratto verso Bondeno, con lo Scolo Porretto (Ferri, 1988).

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 11 m nella parte occidentale fino a 5/5.5 m s.l.m.. Nella 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.

Verso SW si ha anche il lembo marginale del grande bacino interfluviale delle ex Valli del Poggio, che ha centro presso Poggio Renatico; qui le quote scendono dagli 11 m del dosso del Vecchio Reno ai 9,5 m dei terreni prossimi al casello autostradale di Ferrara Sud.

13 BIBLIOGRAFIA PARTE TERZA

AA.VV. (1997) – Carta geomorfologia ed altimetrica della Pianura Padana, scala 1:250000. S.E.L.C.A., Firenze.

AMOROSI A., COLALONGO M.L., FUSCO F., PASINI G. & FIORINI F. (1999) – Glacio-eustatic control of continental – shallow marine cyclicity from Late Quaternary deposits of the south-eastern Po Plain (Northern Italy). *Quaternary Research*, 52: 1-13.

BOLDRINI G., GARGINI A., TURRINI M.C. (2003) – Implicazioni geologico-applicative della presenza di paleoalvei in zone distali di pianura alluvionale: un esempio nella provincia di Ferrara. In: *Atti I Congresso Nazionale AIGA*, Chieti, Febbraio 2003, pp.91-98.

BONDESAN M., DAL CIN R., MANTOVANI M.G. (1974)- Depositi fluvioglaciali Wurmiani in un pozzo terebrato presso Ferrara. *Ann. Dell'Un. Di Ferrara, Sez. IX, Sc geologiche e paleontologiche*, Vol V n°8 pp. 147-163

BONDESAN M., CASTELLANI E. (1980) – Dati preliminari sulla neotettonica del F° 65 (Adria), 76 (Ferrara) e 77 (Comacchio). *Contributi preliminari alla realizzazione della carta neotettonica dell'Italia*, Pubbl. N. 356 del P. F. "Geodinamica", C.N.R., 657-703.

BONDESAN M., SIMEONI U. (1983) – Dinamica e analisi morfologica statistica dei litorali del Delta del Po e alle foci dell'Adige e del Brenta. *Memorie della Società Geologica*, 36, 1-48.

BONDESAN M. (1985) – Quadro schematico dell'evoluzione geomorfologica olocenica del territorio costiero compreso fra Adria e Ravenna. *Atti della Tavola Rotonda di Bologna "Il Delta del Po – Sezione Geologica"*, Accademia delle Scienze, 23-36.

BONDESAN M. (1986) – Lineamenti di geomorfologia del basso ferrarese. In: "La civiltà comacchiese e pomposiana dalle origini preistoriche al tardo medioevo". *Atti del Convegno Nazionale di studi storici di Comacchio 1984*, Nuova Alfa Editoriale, Bologna.

BONDESAN M., MINARELLI A., RUSSO P. (1986) – Studio dei movimenti verticali del suolo nella provincia di Ferrara. In: "Studi idrogeologici sulla Pianura Padana", CLUP, Milano, 2, 1-31.

BONDESAN M. (1995) – Il territorio della provincia di Ferrara, l'evoluzione idrografica e ambientale e il rapporto uomo – natura nei secoli. In: "Guida tematica di Ferrara e provincia", Silvana Editoriale, 159-164.

BONDESAN M. (1990a) – L'area deltizia padana: caratteri geografici e geomorfologici. In: "Il parco del Delta del Po, studi e immagini". Volume 1: "L'ambiente come risorsa", Spazio Libri Editori, Ferrara, 10-48.

BONDESAN M. (1990b) – Le zone umide salmastre dell'Emilia Romagna: aspetti geografici e geomorfologici. In: "Aspetti naturalistici delle zone umide salmastre dell'Emilia Romagna". R.E.R.,23-56. Provincia di Ferrara Servizio Pianificazione Territoriale

BONDESAN M., MINARELLI A., RUSSO P. (1990) – Analisi dei movimenti verticali del suolo avvenuti nel periodo 1970-78, lungo l'asta del Po ad Est di Polesella e nel Delta. In: "Po, AcquAgricolturaAmbiente". Volume 2: "L'alveo e il Delta", Il Mulino, Bologna, 385-407.

BONDESAN M., GIOVANNINI A. (1994) – Evoluzione geomorfologia della pianura costiera fra Codigoro e Comacchio (Ferrara). *Annali dell'Università di Ferrara, Sez. Scienze della Terra*, 5, 3.

BONDESAN M. (1995a) – New evidence on the evolution of the Po-delta coastal plain during the Holocene. *Quaternary International*, 29/30, 105-110.

BONDESAN M., FERRI R., STEFANI M., (1995)- Rapporti fra lo sviluppo urbano di Ferrara e l'evoluzione idrografica, sedimentaria e geomorfologica del territorio in Ferrara nel Medioevo. *Topografia storica e archeologica urbana*, Bologna Grafis edizioni, pp.27-42

BLUM M. D., TOOMEY III R. S. & VALASTRO Jr. S. (1994) – Fluvial response to Late Quaternary climatic and environmental change, Edwards Plateau, Texas. *Palaeogeogr., Palaeoclim., Palaeoclim.*, 108: 1-21.

CASTIGLIONI, PELLEGRINI M. (2001)- Note illustrative della carta geomorfologica della Pianura Padana, Torino.

CIABATTI M. (1966) – Ricerche sull'evoluzione del delta padano. *Giornale di Geologia*, 34, 381-405.

C.N.R. (1990) – Structural model of Italy, Progetto finalizzato Geodinamica, Modello strutturale tridimensionale.

DALPASSO S. (1990) – Piano territoriale paesaggistico ambientale: delta del Po (dall'Adige al Volano). *Pubbl. Delta*, Cesena.

CORREGGIARI A. M., TRINCARDI F. & ROVERI M. (1992) – Regressioni “forzate”, regressioni “deposizionali” e fenomeni di instabilità in unità progradazionali tardo-quadernarie (Adriatico Centrale). *Giornale di Geologia*, 54: 19-36.

FERRI R. (1996)- Quaderni della bassa modenese. Storia, tradizione, ambiente in Gruppo studi bassa modenese. San Felice sul Panaro (Modena). Anno X, numero 1 pp. 5-20.

FERRI R. (1988)- Geomorfologia ed evoluzione idrografica del territorio comunale di Bondeno attraverso lo studio delle fotografie aeree in Bondeno e il suo territorio dalle origini al Rinascimento, a cura di Fede Berti, Sauro Gelichi e Giuliana Steffe, Grafis edizioni, Bologna.

FERRI R. GIOVANNINI A. (1998)- Salvatonica nel Polesine della Diamantina: nota sulla geomorfologia e la geologia di un territorio dell'alto ferrarese. Studi per la storia della parrocchia di Salvatonica, Anacleto Pomposiana, 22, pp.115-133.

FAZZINI P. (1979) – Evoluzione recente della piattaforma adriatica. *Memorie di Scienze, Lettere e Arti di Modena*, VI, 21. Ferrari M. (1996) – Inquadramento geologico – geomorfologico del settore nord-orientale della pianura ferrarese con particolare riguardo alla trasgressione olocenica. Tesi di laurea inedita, Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Ferrara, pp. 189.

MASE' G. (1983)- Aspetti geologico ambientali del territorio del comune di Bondeno (Ferrara). *Annali dell'Università di Ferrara*, IX, VII, (9), pp.109-131.

MAZZUCHELLI M.- Studio geomorfologico del paleoalveo del Poazzo tra S.Biagio e Bondeno, tesi di laurea, Università di Ferrara, a. acc.1979-80, pp.20

PERETTO R. (1986) – Ambiente e strutture antropiche nell'alto Polesine. In: “L'antico Polesine: testimonianze archeologiche e paleoambientali”, Antoniana, Padova, 22-100.

REGIONE EMILIA ROMAGNA (1999) – Carta geologica di pianura dell'Emilia Romagna, scala 1:250000. S.E.L.C.A., Firenze. Provincia di Ferrara Servizio Pianificazione Territoriale

RICCI LUCCHI F, 1986. The Oligocene to Recent foreland basins of the Northern Apennines. In P. A. Alien, P. Homewood (Ed.), *Foreland Basins*. I.A.S. Spec. Publ. 8, 105-139.

RICCI LUCCHI F, COLALONGO M. L., CREMONINI G., GASPERI G., IACCARINO S., PAPANI G., RAFFI S., RIO D., 1982. Evoluzione sedimentaria e paleogeografica nel margine appenninico. In G. Cremonini, F. Ricci Lucchi (Ed.), *Guida alla Geologia del margine appenninico-padano*. Guida Geol. Reg., Soc. Geol. It., 17-46.

ROVERI M., CORREGGIARI A., ASIOLI A., TRINCARDI F., 1997. Evoluzione dei sistemi deltizi e costieri tardo-olocenici in Adriatico settentrionale. *GEOITALIA 1997 – 1° Forum Italiano di Scienze della Terra*, Bellaria, 5-9 Ottobre, 41-43.

RUDDIMAN W.F ET alii. (1989) - Pleistocene evolution: Northern hemisphere ice sheets and north Atlantic Ocean. *Paleoceanography*, 4, n. 4: 353-412.

TRINCARDI F, CORREGGIARI A., ROVERI M., 1994. Late Quaternary transgressive erosion and deposition in a modern epicontinental shelf: the Adriatic Semienclosed Basin. *Geo-Mar. Lett.*, 14, 41-51.

UGGERI G. (1985) – L'insediamento antico del delta del Po. *Atti della Tavola Rotonda di Bologna. "Il Delta del Po – Sezione Geoantropica"*, Accademia delle Scienze, Bologna.

VEGGIANI A. (1985) – Il delta del Po e l'evoluzione della rete idrografica padana in epoca storica. *Tavola Rotonda di Bologna. "Il Delta del Po – Sezione Geologica"*, Accademia delle Scienze, Bologna, 39-68.

VEGGIANI A. (1990) – Fluttuazioni climatiche e difesa del suolo nella pianura padana orientale tra i secoli XIV e XVII. In: *Uomini, terra e acque*, atti del XIV Convegno di Studi Storici di Rovigo.

VISHER G. S., - 1969. Grain Size Distributions and Depositional Processes. *Jour. Sed. Petrology*, 39, 1074-1106.

PARTE QUARTA

ASSETTO CLIMATICO DELL'ALTO FERRARESE

- 14 DEFINIZIONI E METODI DI ELABORAZIONE**
- 15 TENDENZE CLIMATICHE**
 - 15.1 Le tendenze globali**
 - 15.2 Le tendenze in Europa ed in Italia**
 - 15.3 Le tendenze in Emilia Romagna**
- 16 INQUADRAMENTO CLIMATICO GENERALE DELL'AREA DI STUDIO**
 - 16.1 Temperatura**
 - 16.2 Precipitazioni**
 - 16.3 Venti**
- 17 ALCUNI EFFETTI DELLE TENDENZE CLIMATICHE IN ATTO**
 - 17.1 Il 2006**
 - 17.2 Il primo semestre del 2007**
 - 17.3 Dicembre 2007**
- 18 STRATEGIE PER IL FUTURO**
- 19 BIBLIOGRAFIA PARTE QUARTA**

14 DEFINIZIONI E METODI DI ELABORAZIONE

In questo capitolo verranno illustrati gli aspetti generali del clima, inclusi i caratteri climatici stagionali con riferimento alla dinamica delle situazioni meteorologiche primarie. Prima di descrivere la situazione, per chiarezza, definiremo brevemente quelli che sono i parametri citati negli studi considerati e che verranno ampiamente utilizzati in seguito (es: Cap 17):

La siccità va valutata in relazione alla media climatologia del bilancio locale tra evapotraspirazione e precipitazione calcolata sugli ultimi 30 anni (secondo l'Organizzazione Meteorologica Mondiale). Si distinguono le seguenti categorie di siccità: Meteorologica, Agricola, Idrologica, Socioeconomica. Ciascuna categoria genera una sequenza d'impatti:

- in campo ambientale si misura il danno alle specie animali e vegetali, all'habitat naturale, alla qualità dell'acqua e dell'aria, all'erosione del suolo, agli incendi, alla degradazione della biodiversità;
- in campo sociale si considera la gestione delle misure di sicurezza riguardo la salute pubblica e la disponibilità di riserve idriche di emergenza;
- in campo economico si calcolano le ripercussioni sulle attività primarie come l'agricoltura e la pesca che dipendono direttamente dalla disponibilità di riserve d'acqua superficiali e del sottosuolo;

In particolare, nel presente lavoro l'interesse maggiore è sicuramente rivolto alla siccità agricola. Essa è definibile come un'anomala e prolungata scarsità d'acqua nel suolo tale da provocare la riduzione della traspirazione effettiva rispetto a quella massima e, di conseguenza, una sensibile perdita produttiva dovuta alla riduzione dell'assimilazione fotosintetica.

Il deficit traspirativo (DTx), è indicatore basato sullo stress idrico cumulato che può gestire diverse tipologie colturali in aree preferibilmente pianeggianti. Rappresenta la differenza (in mm d'acqua) tra la traspirazione potenziale e la traspirazione reale limitata dalle condizioni contingenti, viene calcolato giornalmente con il modello di bilancio idrico CRITERIA (Zinoni e Marletto, 1999) e poi integrato su un periodo di tempo significativo (30, 60, 90,...180 giorni). Il confronto tra i dati recenti e quelli storici consente di evidenziare l'entità e di definire le caratteristiche spazio-temporali degli eventi di siccità agricola. Infatti, la mappa della distribuzione dei percentile (Tab. 14.1), ottenuta confrontando i valori attuali con quelli calcolati nello stesso giorno di ogni anno del periodo preso a riferimento, permette di ottenere informazioni sull'importanza delle anomalie attuali.

L'indice dà così una stima dello stato della coltura, legata al suo stadio di sviluppo, alle condizioni di umidità del suolo ed allo stato meteorologico, che riflette non uno stato momentaneo ed istantaneo, ma perdurante per un periodo di riferimento. Il deficit traspirativo è significativo ai fini agricoli se permane elevato per un lungo periodo.

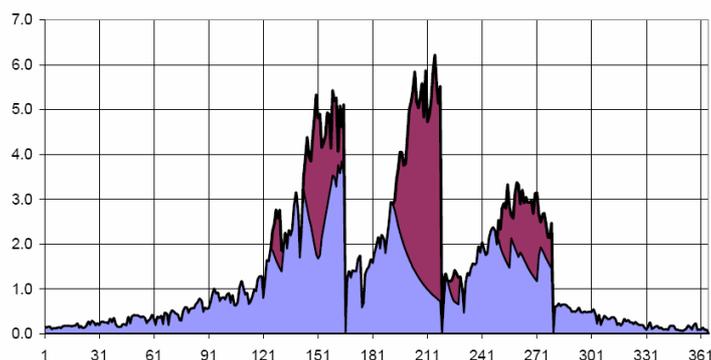


Fig. 14.1: Andamento tipico della traspirazione massima (sullo sfondo in mm) ed effettiva (primo piano in mm) simulate con il modello CRITERIA su erba medica. Durante i periodi di stress idrico la traspirazione effettiva si sgancia da quella massima riducendosi considerevolmente.

Percentile del DT	Situazione
da 50 a 75	Normale
da 76 a 90	Moderata
da 91 a 95	Grave
da 96 a 99	Gravissima
100	Eccezionale

Tab. 14.1: Il percentile del deficit traspirativo, ottenuto confrontando i valori attuali con quelli storici di riferimento, permette di ottenere informazioni sull'entità delle anomalie.

L'indice TempER rappresenta l'anomalia termica dovuta allo scarto della temperatura media regionale attuale (periodo 1991-2007) rispetto a quella del trentennio precedente (1961-1990).

Lo Standardized Precipitation Index (SPI) sviluppato da McKee et al. (1993), quantifica il deficit di precipitazione ed è calcolato considerando la deviazione della precipitazione rispetto al suo valore medio su una data scala temporale, divisa per la sua deviazione standard.

Ogni scala temporale riflette l'impatto della siccità sulla disponibilità di differenti risorse d'acqua. L'umidità del suolo risponde alle anomalie di precipitazione su scale temporali brevi, mentre l'acqua in sottosuolo, fiumi e invasi tende a rispondere su scale più lunghe (Tab. 14.2).

VALORE DELL'SPI	CLASSE
> 2,0	Estremamente umido
da 1,5 a 1,99	Veramente umido
da 1,0 a 1,49	Moderatamente umido
da -0,99 a 0,99	Vicino al normale
da -1,0 a -1,49	Moderatamente siccitoso
da -1,5 a -1,99	Severamente siccitoso
< - 2,0	Estremamente siccitoso

Tab. 14.2: Valori negativi di SPI manifestano condizioni di siccità più o meno intensa.

L'acqua disponibile nel suolo per le diverse colture (in mm d'acqua) è la differenza tra il livello corrente di umidità del terreno U, ed il punto di appassimento PA. Il percentile dell'acqua disponibile (Tab 14.3) è calcolato rispetto ad un dato periodo di riferimento e si riferisce in genere ad uno strato di terreno compreso tra 0 e 150 cm.

Percentile di AD	Situazione
da 25 a 50	Normale
da 10 a 24	Moderata
da 5 a 9	Grave
da 1 a 4	Gravissima
<1	Eccezionale

Tab. 14.3: Andamento della siccità agricola in funzione del percentile di acqua disponibile.

Ai fini del monitoraggio del livello di siccità si possono utilizzare gli indici di vegetazione calcolati da immagini da satellite con bande nel rosso e vicino infrarosso. L'indice di vegetazione normalizzato (NDVI) presenta una forte correlazione con il contenuto di clorofilla e area fogliare, quindi con lo stato di salute delle piante stesse.

Al fine di analizzare l'andamento dei parametri meteoclimatici, i dati meteorologici vengono utilizzati per ricostruire il campo tridimensionale di vento e temperatura ed il campo bidimensionale di grandezze

caratteristiche dello strato limite planetario e della turbolenza. Le grandezze utili alla valutazione delle caratteristiche dispersive dell'atmosfera sono:

- l'altezza di rimescolamento definita come lo strato d'aria compreso tra il suolo ed una quota nel quale si ha la riduzione della temperatura con l'aumento della quota stessa; si tratta di uno strato all'interno del quale si diffondono verticalmente gli inquinanti emessi in prossimità della superficie per cui la concentrazione degli inquinanti tende ad essere maggiore nello strato rimescolato che al di sopra di esso. L'altezza di rimescolamento è caratterizzata da un ciclo diurno e stagionale: nel periodo invernale, si ha una riduzione che favorisce alte concentrazioni d'inquinanti al suolo.
- la classe di stabilità è un indicatore qualitativo dell'intensità della turbolenza atmosferica responsabile dei rimescolamenti dell'aria. Uno degli schemi di classificazione empirica più usati, detto Pasquill-Gifford-Turner (Tab. 14.4), si basa su parametri di riferimento quali intensità del vento, radiazione solare globale e copertura nuvolosa.

classi di stabilità (σ_{cor})	definizione	gradiente di temperatura verticale (°C/m)
A	condizioni estremamente instabili	< -0.019
B	condizioni moderatamente instabili	fra - 0.019 e -0.017
C	condizioni leggermente instabili	fra - 0.017 e -0.015
D	condizioni neutre	Fra -0.015 e -0.005
E	condizioni leggermente stabili	Fra -0.005 e +0.015
F	condizioni stabili	> +0.015

Tab. 14.4: Classi di stabilità secondo Pasquill-Gifford-Turner.

In condizioni di stabilità (E-F) le sostanze inquinanti permangono più a lungo allo stesso livello. Al verificarsi dell'inversione termica (F), si ha il confinamento degli inquinanti in prossimità della superficie. In condizioni di instabilità (A-B-C) l'inquinante viene rapidamente rimescolato in atmosfera ad opera dei moti turbolenti di origine termica. In condizioni di neutralità (D) l'inquinante viene trasportato e rimescolato per condizioni di turbolenza meccanica.

- un'altra grandezza utilizzata nella valutazione della qualità dell'aria è l'intensità del vento: elevate velocità tendono infatti a favorire la dispersione degli inquinanti immessi vicino alla superficie. In tale ambito, diviene significativa la frequenza di condizioni nelle quali l'intensità del vento alla superficie è inferiore ad 1 m/s, essa è detta frequenza delle calme.

15 TENDENZE CLIMATICHE

Una volta definite le grandezze fisiche ed i metodi utilizzati per la caratterizzazione climatica, prima di passare alla descrizione della situazione locale, si ritiene opportuno riportare importanti studi su larga scala per meglio inquadrare il contesto in cui la nostra analisi particolare deve essere inserita.

15.1 Le tendenze globali

Il terzo rapporto di valutazione dell'IPCC (<http://www.ipcc.ch>), afferma che il clima del nostro pianeta sta cambiando con una velocità che sembra crescente, in particolare negli ultimi 10-20 anni.

L'aumentato tasso di crescita delle emissioni dei gas serra sembra essere il principale candidato di questo cambiamento. Il riscaldamento dello strato inferiore dell'atmosfera, definito come "effetto serra", è attribuibile in gran parte alle emissioni di CO₂ connesse ad attività antropiche e utilizzo di combustibili fossili, alle emissioni di CH₄ connesse ad attività agricole, allevamenti, smaltimento dei rifiuti e utilizzo dei combustibili fossili, ed infine alle emissioni di N₂O connesse a pratiche agricole e processi industriali. La concentrazione di gas serra, in particolare di CO₂, ha subito delle variazioni significative a partire dalla concentrazione preindustriale di circa 280 ppm, fino a 372 ppm nel 2003. L'uomo continuerà ad influenzare il cambiamento atmosferico per tutto il 21° secolo attraverso l'emissione di CO₂ ma, anche nell'ipotesi che le emissioni diminuissero, le proiezioni basate su diversi scenari futuri indicano che la concentrazione di CO₂ raddoppierà entro il 2100.

Alla scala globale, la temperatura media dell'aria è cresciuta di circa 1°C dal 1860 ad oggi e il riscaldamento del XX sec. è probabilmente il più alto degli ultimi 10 secoli. La maggior parte dell'incremento si è verificato in due distinti periodi, dal 1919 al 1945 e dal 1976 in avanti (Fig. 15.1). Quest'ultimo incremento è stato inoltre quasi globale, ma gli aumenti più rilevanti si sono verificati alle medie e alte latitudini delle zone continentali dell'Emisfero Nord. Il riscaldamento recente è stato maggiore sulla terra che sugli oceani.

L'analisi congiunta di diverse catene modellistiche globali (AOGCM) stima un incremento medio globale della temperatura dell'aria entro il 2100 compreso tra 1,4 e 5,8°C in relazione ai diversi scenari di emissione di gas serra per i prossimi anni (da 3 a 6 °C senza interventi strutturali). La stima delle anomalie termiche

sulla scala regionale è molto meno accurata di quanto non sia il segnale globale, però sulla base dei risultati dei più recenti AOGCM (o *downscaling*) si può ipotizzare che tutte le regioni della Terra si riscaldano, in modo particolare quelle situate alle medie e alte latitudini, con effetto maggiore nelle stagioni fredde.

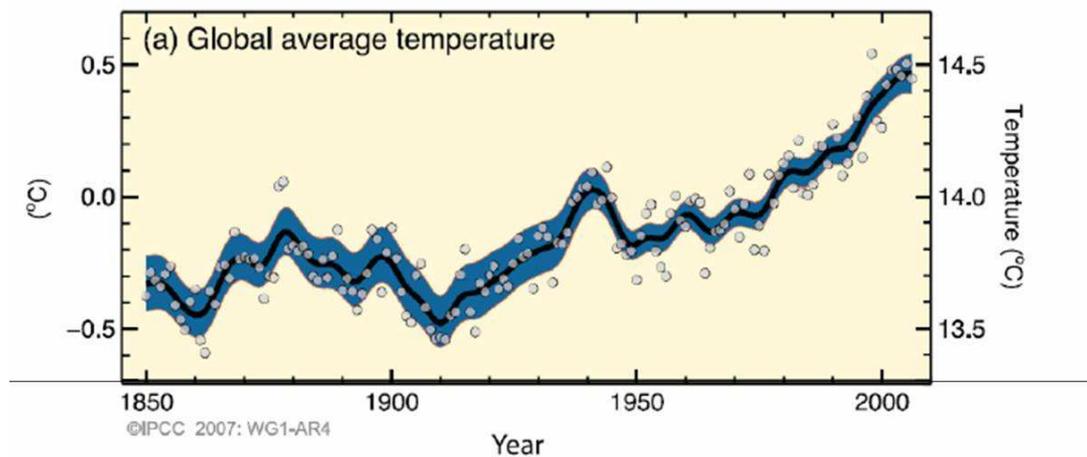


Fig. 15.1: Cambiamenti osservati di temperatura media globale alla superficie relativi alle corrispondenti medie per il periodo 1961-1990. Le curve smussate rappresentano i valori medi decennali mentre i cerchi mostrano i valori annuali. Le aree ombreggiate sono gli intervalli di incertezza stimati attraverso un'analisi delle incertezze conosciute.

Le precipitazioni annuali sulla terra hanno subito un incremento (compreso tra 0.5 e 1.0 % per decade) in particolare alle medie e alte latitudini nell'Emisfero Nord e nelle aree tropicali. Ciò sembra essere attribuibile all'incremento di lungo periodo della copertura nuvolosa totale ed all'aumento globale del vapore acqueo atmosferico. Nelle regioni dove si è verificato un aumento di precipitazioni si sono verificati anche eventi estremi di precipitazione più pronunciati. In alcune regioni comunque gli eventi estremi sono aumentati anche a fronte di precipitazioni totali diminuite o rimaste costanti. In generale in molte regioni delle medie-alte latitudini, soprattutto dell'Emisfero Nord, negli ultimi 50 anni, si è visto un aumento del 2-4% nella frequenza degli eventi estremi di precipitazione. Al contrario, nelle zone sub-tropicali (10°N-30°N), le precipitazioni sembrano drasticamente diminuite (-0.3 % per decade).

Per quanto riguarda le precipitazioni future, i modelli (AOGCM) danno come proiezioni globali, e per un ampio range di scenari, un aumento della concentrazione di vapore acqueo e delle precipitazioni durante il XXI sec., e in particolare un aumento alle medie-alte latitudini. Per gli eventi estremi, il rapporto indica che c'è un generale aumento della probabilità che si verifichino su scala globale.

15.2. Le tendenze in Europa ed in Italia

Le osservazioni che si possono fare rispetto a quello che sta accadendo sul continente europeo, sono sostanzialmente analoghe a quelle elencate per all'andamento globale: la maggior parte delle aree europee ha mostrato aumenti di temperatura fino a $+0.8^{\circ}\text{C}$ in questo secolo. La precipitazione annua è molto aumentata nell'Europa centro-settentrionale fin dalla metà del XIX secolo con valori ben al di sopra della media dopo l'evento di siccità del 1940. Nell'area del Mediterraneo invece le precipitazioni sono calate considerevolmente (fino a -20%).

In particolare, le analisi delle serie storiche italiane (ENEA e CNR-ISAC), relative al periodo 1865-1996, indicano che le temperature massime e minime mensili sono aumentate in modo diverso nelle diverse regioni. La temperatura massima è aumentata di circa 0.6°C nelle regioni del Nord e di 0.8°C nelle regioni del centro-Sud, la temperatura minima è aumentata di circa 0.4°C nelle prime e 0.7°C nelle seconde. L'inverno è la stagione nella quale le temperature massime e minime sono aumentate maggiormente in tutte le regioni italiane (Brunetti et al., <http://www.isao.bo.cnr.it/~climstor/>).

Per le precipitazioni non vi sono segnali chiari, come si è invece osservato per la temperatura. Sul bacino del Mediterraneo, sembrano probabili estati più "secche" di quanto non sia stato sino ad ora. Comunque c'è una tendenza sul periodo considerato alla diminuzione delle precipitazioni sia al Nord sia al Sud rispettivamente con -47 ± 17 e -104 ± 12 mm/100y. I giorni di pioggia sono in diminuzione sia al Nord sia al Sud con la stessa tendenza, mentre l'intensità delle precipitazioni è in aumento con un valore annuale leggermente superiore al Nord rispetto al Sud.

Un'altro studio del clima italiano (Buffoni, Brunetti, Mangianti, Maugeri, Monti, Nanni - ClimAGRI 2003) per il periodo 1951/2000, conferma sostanzialmente quanto sin qui detto:

- negli ultimi 50 anni le precipitazioni totali sono diminuite in tutto il territorio nazionale con maggiori riduzioni nelle regioni centro-meridionali, rispetto a quelle settentrionali. Tale riduzione risulta abbastanza contenuta e spesso statisticamente non significativa della quantità di pioggia,
- il numero complessivo dei giorni di pioggia in tutto il territorio nazionale è diminuito di circa il 14% senza significative variazioni fra regioni settentrionali e regioni centro-meridionali, e a livello stagionale si riscontra, in generale e per tutte le regioni, che la riduzione dei giorni di pioggia è molto più elevata nella stagione invernale rispetto alle altre stagioni.

Peraltro, alla riduzione nel numero di giorni di pioggia, si associa anche una tendenza ad un aumento nella frequenza dei periodi "secchi" per i quali è stata anche osservata una persistenza maggiore al nord in inverno e al sud in estate.

- accanto alla diminuzione del numero di giorni di pioggia, si ha un significativo incremento dell'apporto medio per singolo giorno piovoso (intensità). Quest'incremento è presente lungo tutto l'arco dell'anno.

In particolare, per l'Italia settentrionale, uno studio (ARPA-SMR, 04/2001) su 30 stazioni sinottiche nel periodo 1960/1999 sottolinea come l'area adriatica, negli ultimi dieci anni (1990/1999), ha dei valori di precipitazioni che si sono mantenuti al di sotto della media del trentennio di riferimento (1960/1990), in particolare gli ultimi tre anni sono stati i meno piovosi dei 40 anni considerati. Nell'area adriatica infatti le diminuzioni sono comprese tra -20.7 e -8.7 mm in inverno e tra -29.9 e -9.1 mm in primavera; i valori autunnali, invece, segnano una sostanziale stabilità (-0.9 mm).

15.3 Le tendenze in Emilia Romagna

Anche sul territorio regionale si denotano segnali di cambiamento climatico molto simili a quanto si rileva a scala maggiore (Cacciamani, Tomozeiu, Pavan, Ribaldi – ARPA).

Dall'analisi dei trend delle temperature massime si rileva un chiaro segno positivo dell'ordine di quasi 2°C in poco più di 40 anni (circa 0.5°C/10y) con una evidente impennata dall'inizio degli anni '80 che dura sino a tutt'oggi. Tale segnale di crescita è visibile in tutte le stagioni. In particolare, durante la stagione estiva si osservano dei valori delle temperature massime sempre superiori ai valori di riferimento climatici (Fig. 15.2 a sinistra).

Per quanto riguarda le temperature minime si denota un chiaro segno positivo nel trend dell'ordine di $+0.2^{\circ}\text{C}/10\text{y}$ (nei valori annui) con una evidente impennata negli ultimi 10 anni che sono risultati sicuramente molto più caldi dei precedenti. Tale segnale di crescita è visibile in tutte le stagioni (Fig. 15.2 a destra).

Dati più recenti dicono che al momento (fine 2007) l'indice TempER si attesta a $0,482^{\circ}\text{C}$ (Fig. 15.3). Se la tendenza media 1991-2007 dovesse proseguire la nostra regione nel 2020 risulterà in media più calda di quasi un grado ($0,88^{\circ}\text{C}$) e nel 2100 l'incremento supererà i 3°C .

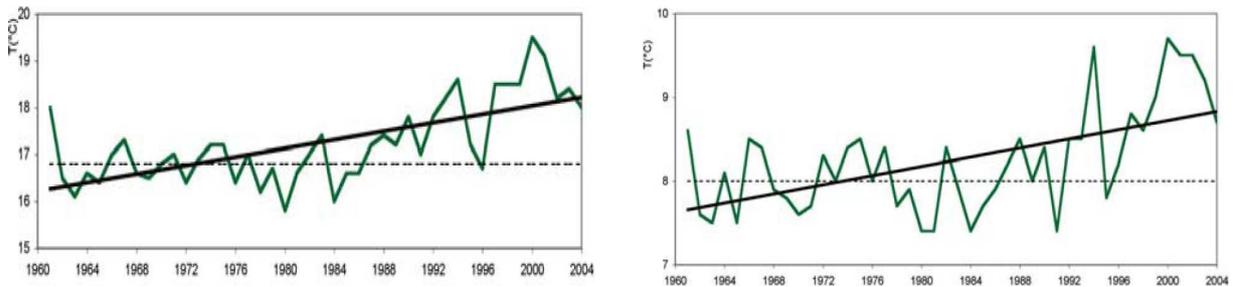


Fig. 15.2: Temperatura massima annuale media (a sinistra) e minima annuale media (a destra) sulla regione Emilia-Romagna; in verde si riportano le medie annuali, con il tratteggio il valore climatico calcolato sul trentennio 1961-1990 ed in nero la regressione lineare delle medie annuali.

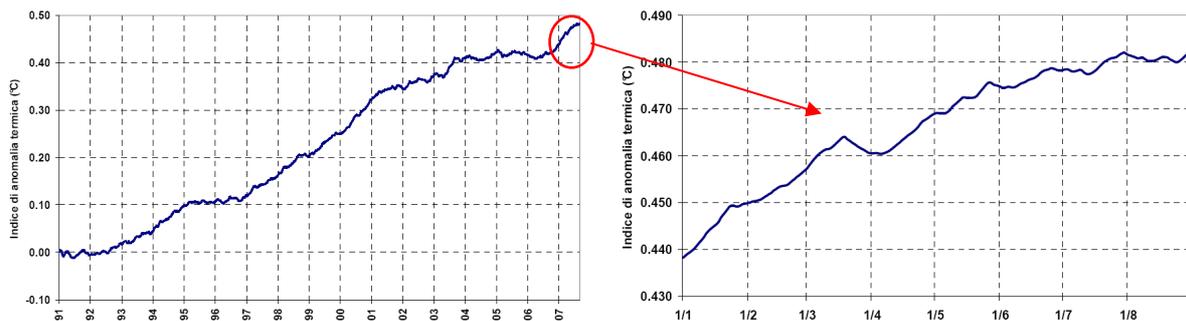


Fig. 15.3: a sinistra è riprodotto l'andamento complessivo dell'indice TempER tra il 1991 e oggi. Lo zero rappresenta il periodo di riferimento 1961-90. Dal 2006 l'indice ha ripreso a crescere dopo più di due anni di pausa; a destra è evidenziato l'andamento dell'indice TempER nei primi otto mesi del 2007. Come si vede nell'ultimo bimestre la corsa dell'indice è rallentata considerevolmente. Il tasso medio di aumento in questo periodo risulta comunque superiore ai $7^{\circ}\text{C}/\text{secolo}$.

Nel corso degli ultimi dieci anni l'Emilia-Romagna ha inoltre registrato variazioni significative nella frequenza degli eventi estremi. Ad esempio, l'estate del 2003 è stata la più calda dall'inizio del XX secolo, sia per quanto concerne i valori della temperatura massima che di quella minima. Nello stesso tempo, l'estate 2003 è stata particolarmente secca, con numerosi giorni consecutivi senza pioggia. Peraltro, l'Alto Ferrarese è stato una delle zone in cui tale fenomeno è risultato più evidente (Fig. 15.4).

Le previsioni per il clima futuro dell'Emilia-Romagna, per il periodo 2070-2100, indicano che il clima regionale sarà significativamente più caldo in tutte le stagioni, sia rispetto alla temperatura minima, che alla massima. L'aumento del valore della temperatura minima è previsto essere inferiore per la primavera rispetto alle altre stagioni, mentre per la massima si prevedono incrementi più pronunciati in primavera ed estate. In particolare, si prevede che l'incremento medio di temperatura massima in Emilia-Romagna possa raggiungere 3°C in primavera e 5°C in estate. A seguito di queste variazioni si potrà osservare una diminuzione nel numero di giorni con gelo e un aumento nella durata delle onde di calore.

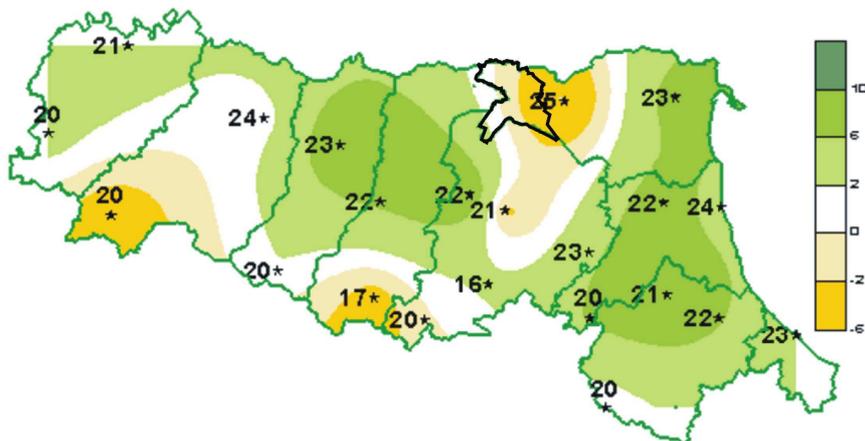


Fig. 15.4: Mappa delle anomalie dell'indice di numero massimo di giorni consecutivi senza pioggia per l'estate 2003. I valori riportati presso le singole stazioni (*) si riferiscono ai valori medi dello stesso indice per il periodo 1960-90.

Analizzando le precipitazioni si nota una significativa tendenza negativa durante il periodo invernale, accentuata in particolare nell'ultimo decennio (Fig. 15.5). Al contrario, durante i periodi estivo e autunnale, le precipitazioni mostrano un trend positivo che tende a mitigare il deficit pluviometrico.

A livello annuale, si nota comunque una generale flessione delle piogge; in particolare è evidente come il tipico andamento altalenante che caratterizza la variabilità inter-annuale sia spostato al di sotto dei valori della media climatica trentennale (calcolata nel periodo di riferimento 1961-1990).

Anche in questo caso, come per la temperatura, l'andamento sopra descritto è molto evidente specie a partire dall'inizio degli anni ottanta.

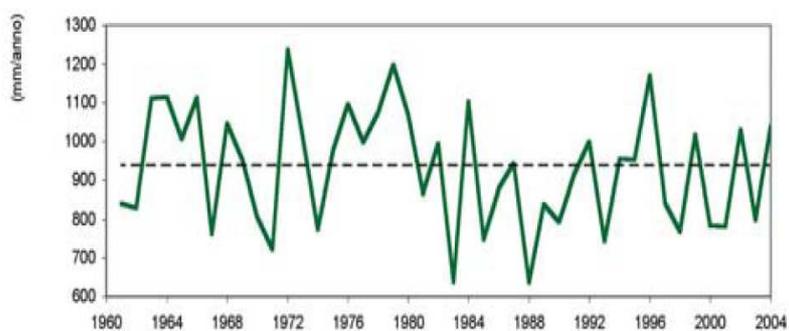


Fig. 15.5: Precipitazioni annuali in Emilia-Romagna; il valore di precipitazione cumulativa è rappresentato dalla linea verde mentre il valore climatico in tratteggio è calcolato sul trentennio 1961-1990.

16 INQUADRAMENTO CLIMATICO GENERALE DELL'AREA DI STUDIO

L'area oggetto di studio si inquadra nel comparto climatico dell'Alto Adriatico e viene definita, nelle classificazioni climatiche su base termica, a clima temperato freddo con estati calde e inverni piuttosto rigidi, ad elevata escursione termica estiva ma con moderate escursioni termiche diurne (10-12°C) ed annue (20-25°C) ed infine a regime di precipitazioni da modeste a moderate ma sufficienti in tutto l'anno.

Questa connotazione viene in parte alterata dalla presenza della catena montuosa appenninica nella quale trovano posizione alcuni importanti sistemi vallivi con orientamento SW-NE e che determinano strutture topograficamente aperte alle correnti nord-orientali. Questi elementi geografici portano ad una forte variabilità climatica spaziale e temporale che coinvolge sia i valori medi, che la frequenza e l'intensità degli eventi meteorologici estremi. Al contrario, l'azione esercitata dal mare Adriatico (il suo bacino settentrionale presenta una profondità media di 50 metri) non è tale da mitigare significativamente i rigori dell'inverno, se non nella parte di pianura più prossima alla costa.

La regione Emilia Romagna si presenta suddivisa in tre grandi aree: una zona collinare, un'ampia zona pianeggiante e un'area prospiciente l'Adriatico settentrionale caratterizzata da condizioni metereologiche costiere. Il territorio della provincia di Ferrara comprende solo due delle suddette aree; infatti, esso può essere suddiviso in una zona costiera, che dal mare si estende per una trentina di chilometri nell'entroterra, ed in una zona padana pianeggiante posta più ad occidente. Vengono così a definirsi, sia pure con una linea di demarcazione non facilmente definibile, una sub-regione litoranea e una sub-regione continentale.

In particolare, l'area oggetto di studio ricade nella sub-regione continentale che mostra una distribuzione delle precipitazioni alquanto irregolare, un graduale aumento dell'amplitudine termica ed una progressiva attenuazione dell'intensità del vento. L'aspetto di continentalizzazione del clima in questo comparto è legato soprattutto alla mancanza di attiva ventilazione (e quindi di rimescolamento verticale dell'aria). Gli aspetti più caratteristici del clima nell'area di pianura ormai lontana dal mare (circa 35-40 Km dal mare), sono:

- prolungati periodi di ristagno dell'aria per mancanza di ventilazione,
- maggiore escursione termica giornaliera con valori più marcati delle temperature estreme,
- condizioni di gelo notturno nei mesi invernali per presenza di inversioni termiche verticali al suolo (alle quali si associano elevati valori di umidità relativa e formazioni nebbiose),
- intenso riscaldamento dei suoli nei mesi estivi con conseguenti disagi di afa

- elevati valori di umidità dell'aria che derivano dalle inversioni termiche invernali e dall'intensa evaporazione estiva (favorita dalla presenza di riserve di umidità lungo l'asta del Po e nelle bonifiche).

Di seguito vengono comunque discussi con maggiore dettaglio quali sono gli andamenti tipici di temperatura, precipitazioni e venti nella sub-regione continentale che comprende il Territorio dell'Alto Ferrarese.

16.1 Temperatura

I valori mostrano un andamento tipico di località sub-continentale, con un massimo in agosto pari a 29.9°C ed un minimo in febbraio di -1.8°C, con una significativa escursione termica fra i due periodi (31.7°C).

La temperatura media annua rilevata è pari a circa 13.4°C (con valori più elevati in prossimità dei grandi centri urbani ove si creano apprezzabili isole di calore). La temperatura media stagionale si stabilizza intorno ai 3°C in inverno, ai 13°C in primavera, ai 23°C in estate ed ai 14°C in autunno, con una escursione termica annua sui 20°C. Essa presenta un minimo annuale in gennaio e un massimo in luglio con un incremento di circa 4°C per mese (da gennaio a luglio) e un decremento di circa 5-6°C per mese (da settembre a dicembre).

16.2 Precipitazioni

Le precipitazioni sono numericamente scarse, poco copiose, ma distribuite abbastanza uniformemente nelle quattro stagioni. La ripartizione annuale delle precipitazioni osserva un generale regime padano; si hanno così un massimo assoluto in autunno, in particolare tra la fine di ottobre e la metà di novembre, un secondo massimo in primavera e due minimi, estivi ed invernali, dei quali il primo è più accentuato. Solamente nella bassa pianura ferrarese si può individuare un regime padano, caratterizzato – come già detto – da precipitazioni scarse ma molto uniformemente distribuite durante l'anno, con il minimo invernale che localmente tende a divenire minimo assoluto rispetto a quello estivo.

La piovosità media annua, rilevata nel periodo dal 1946 al 1994 al pluviometro di S.Agostino, risulta di 656 mm. Vanno però evidenziate, specie dopo il 1970, interessanti diminuzioni sia nelle precipitazioni annuali che nell'intensità dei venti.

16.3 Venti

L'altezza di rimescolamento massima giornaliera, ha un andamento di graduale innalzamento passando dalla zona costiera verso l'entroterra. Nella zona dell'Alto Ferrarese l'altezza media ha valori compresi tra 1250 e 1300 metri (Fig. 16.1 a sinistra).

La frequenza di dati orari caratterizzati da condizioni di stabilità (classe F), è pari al 30-35% nella parte meridionale dell'Alto Ferrarese mentre è >35% in quella settentrionale (Fig. 16.1 a destra).

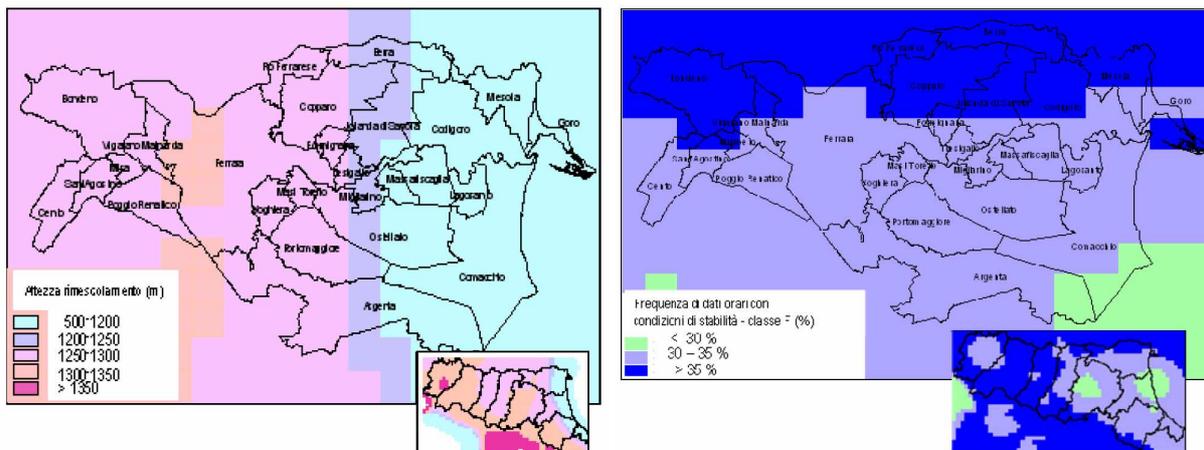


Fig. 16.1: Altezza di rimescolamento giornaliera mediata tra 1995 e 2002 (a sinistra) e Frequenza di condizioni stabili (classe F secondo Pasquill-Gifford-Turner) mediata tra 1995 e 2002 (a destra).

Per quanto riguarda i venti, i dati evidenziano una predominanza in tutte le direzioni di velocità comprese tra 2 e 5 nodi. Si evidenziano inoltre componenti non trascurabili di venti a velocità tra 8 e 12 nodi nei quadranti NE e WNW (Fig. 16.2).

In inverno e in autunno prevalgono questi ultimi mentre in primavera prevalgono i primi.

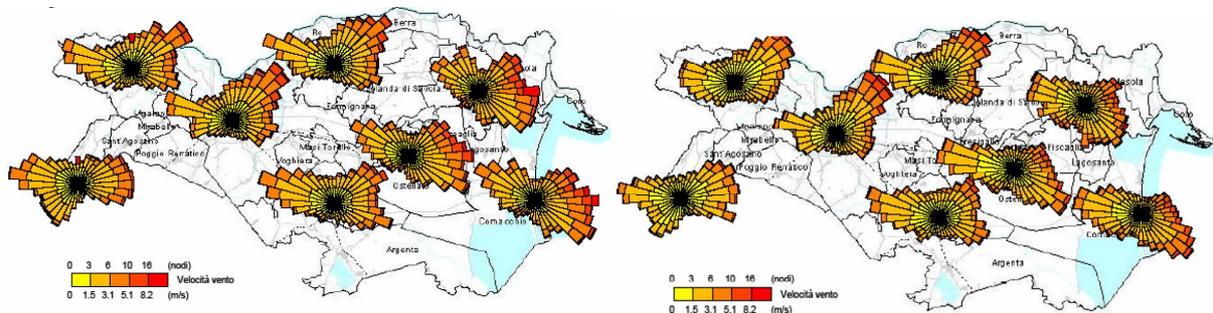
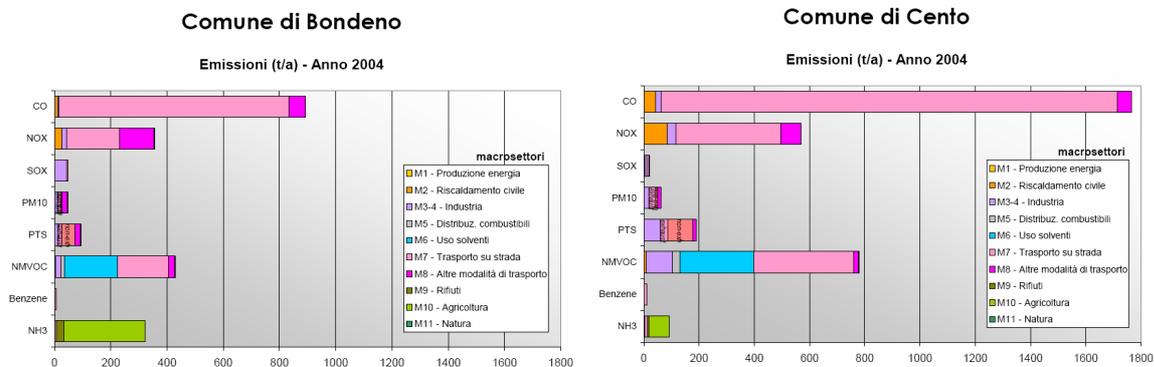


Fig. 16.2: Rose dei venti per il 2003 (a sinistra) e per il 2004 (a destra).

Per quanto riguarda la frequenza di calme di vento (intensità del vento <1 m/s), essa aumenta passando dalla zona costiera verso l'entroterra. La zona con condizioni di calme di vento più frequenti è proprio l'alto Ferrarese che si trova appunto nella porzione Nord-occidentale della provincia di Ferrara. Tale condizione, unita all'elevato valore dell'altezza di rimescolamento, favorisce purtroppo lo stazionamento sul territorio delle sostanze inquinanti emesse nell'atmosfera.

In particolare, le emissioni dei diversi macrosettori per i comuni dell'Alto Ferrarese al 2004 sono riportate in Fig. 16.3 (da Piano di Tutela e Risanamento della Qualità dell'Aria - PROVINCIA DI FERRARA). Da notare come nei comuni di Sant'Agostino, Mirabello e Bondeno (nei pressi di Scortichino) siano presenti aziende definite "ad emissioni significative di NOx e SOx" dal DPR 203/88 e come nei comuni di Bondeno e Cento si sviluppino la maggior parte delle strade statali e provinciali dell'Alto Ferrarese.



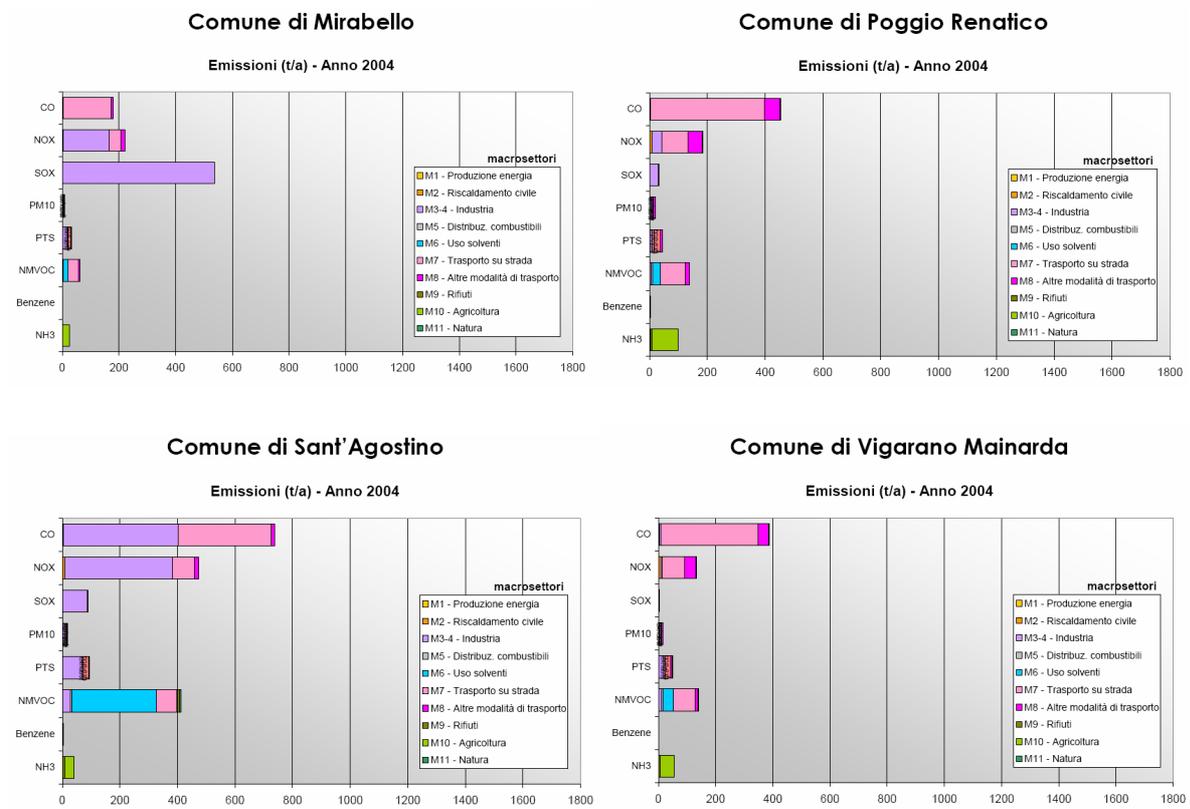


Fig. 16.3: Campagne di misurazione delle emissioni con stazione fissa a Cento e con campagne mobili per gli altri comuni.

17 ALCUNI EFFETTI DELLE TENDENZE CLIMATICHE IN ATTO

Sicuramente uno degli impatti più importanti e più evidenti delle tendenze climatiche in atto è il frequente e persistente verificarsi di eventi siccitosi, con tutta una serie di impatti negativi sull'economia e sulla sicurezza sia sanitaria che ambientale del territorio in oggetto. Nei paragrafi che seguono verranno descritte in breve le caratteristiche salienti degli ultimi due anni.

17.1 Situazione nel 2006

I primi due mesi del 2006 sono stati caratterizzati dall'afflusso di correnti fredde e secche continentali sulle aree orientali dell'Italia, connesse alla presenza di un vasto anticlone russo-siberiano. Le temperature sono state molto basse con gelate notturne frequenti mentre le precipitazioni si sono tenute ovunque inferiori alla media. Da metà febbraio, l'indebolimento dell'anticlone russo-siberiano ha fatto sì che la nostra penisola sia stata interessata da flussi di correnti più temperate, provenienti dall'Atlantico, che hanno apportato precipitazioni diffuse ed un innalzamento generale delle temperature.

Marzo e aprile si sono caratterizzati inizialmente per l'afflusso di correnti nord occidentali associate al ramo discendente di una saccatura centrata sull'Europa nord-orientale, poi, il susseguirsi di minimi depressionari associati ad un vortice sull'Europa orientale ha investito le coste del versante adriatico determinando un forte abbassamento delle temperature e piogge diffuse.

Durante la prima metà di maggio, i flussi occidentali hanno portato condizioni di tempo variabile su tutta la penisola. La seconda parte di maggio ha visto, invece, la predominanza di correnti sud occidentali che hanno trasportato sull'Italia aria calda, subtropicale con tempo stabile, soleggiato e temperature molto al di sopra della media. Le precipitazioni dell'intero mese sono risultate al di sotto della media su quasi tutta l'Italia, ed in particolare al Nord. Il mese di maggio è risultato particolarmente siccitoso sul settore occidentale del Bacino del Po. Ad esempio sulle province di Piacenza e Parma sono piovuti dei quantitativi di precipitazione che rappresentano il 18% ed il 30% dell'apporto medio atteso nel mese, e concentrate quasi esclusivamente in pochi giorni a metà mese.

Nella prima parte del mese di giugno un profondo promontorio anticiclonico stazionario sulle coste atlantiche ha convogliato correnti molto fredde per il periodo sull'Italia. Le correnti fredde non hanno però causato piogge sul Nord Italia aggravando quindi uno stato di siccità già abbastanza consolidato.

Dalla seconda e terza decade del mese si installa sul bacino centrale del Mediterraneo un profondo promontorio di alta pressione che esclude del tutto la possibilità di precipitazioni significative, fatta esclusione di locali episodi temporaleschi talvolta anche violenti ma che poco incidono dal punto di vista del ricarica idrico. Le temperature superano i 35 gradi in parecchie località del Nord Italia. Tale situazione resta praticamente invariata per tutto il mese di luglio e di agosto (Fig. 17.1).

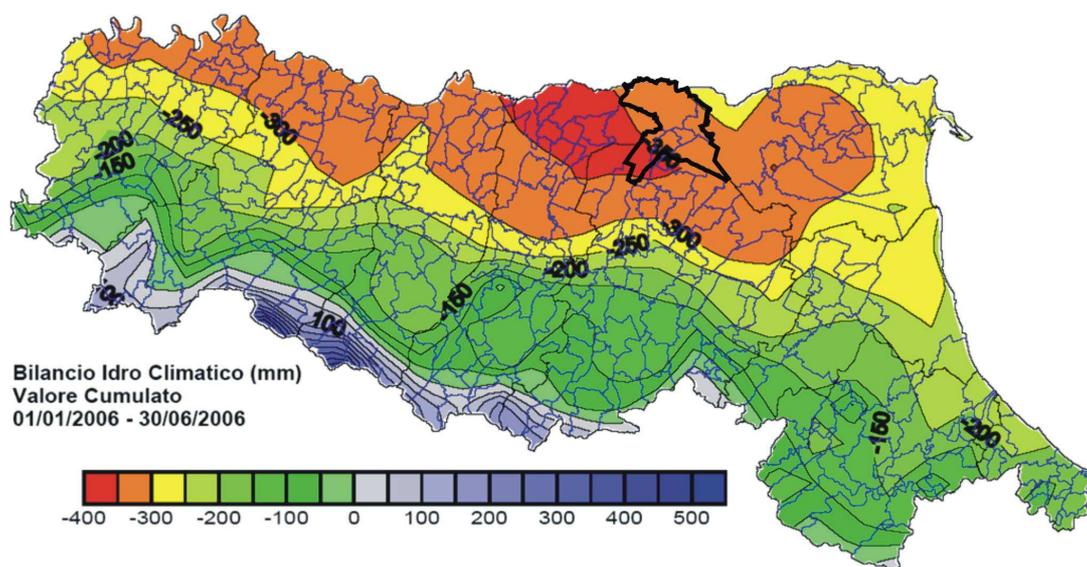


Fig. 17.1: Grave stato di siccità che ha colpito la pianura padana nell'estate 2006. Si noti come nel territorio dell'Alto Ferrarese il deficit abbia raggiunto punte anche superiori ai 350 mm (nel comune di Cento).

Gli ultimi mesi del 2006 sono stati caratterizzati da una vasta anomalia anticiclonica che ha interessato tutta l'Europa. Le perturbazioni, che tipicamente in questo periodo apportano precipitazioni abbondanti sulla nostra regione, sono rimaste confinate al settore Atlantico. Le poche precipitazioni significative del periodo hanno interessato prevalentemente i rilievi del settore occidentale lasciando praticamente a secco la pianura della Romagna. Rispetto a precipitazioni generalmente attese nel periodo (150 mm), si è calcolata un'anomalia negativa compresa tra 100 e 150 mm per le aree di pianura centro-orientale, tra 150 e 200 mm per le aree di pianura occidentale. Da registrare anche la quasi totale assenza di precipitazioni nevose sui rilievi viste le alte temperature (lo scarto medio del trimestre rispetto al clima della temperatura in pianura è stato di 1-2°C).

Il quadro sopra tracciato ha determinato una grave anomalia pluviometrica su praticamente tutto il Nord Italia. La mancanza di precipitazione ha causato una situazione di magra di tutti i bacini idrografici che insistono sul territorio del Nord Italia. Di conseguenza al termine del 2006 i valori dell'SPI a 3 e 12 mesi risultavano già negativi in tutta la regione.

17.2 Il primo semestre del 2007

A gennaio l'alta pressione è rimasta dominante sull'Italia settentrionale e su tutto il Mediterraneo. Le temperature medie sono risultate molto anomale su tutta la regione. Si sono registrate deboli precipitazioni solo alla fine del mese. Anche a febbraio le temperature sono state superiori alla norma di 3 °C in pianura. Le numerose e deboli perturbazioni hanno permesso di raggiungere valori di pioggia pressoché normali in tutta la pianura. Il mese di marzo è proseguito stabile fino all'ultima decade, che è stata invece caratterizzata da condizioni di tempo prettamente invernali. In seguito, correnti umide orientali hanno provocato precipitazioni molto abbondanti e superiori alla media climatologica in tutta la regione. Nell'ultimo periodo le temperature sono state significativamente inferiori alla media del periodo.

In aprile, un esteso campo anticiclonico presente sull'Europa continentale ha favorito cieli sgombri da nubi e un progressivo aumento delle temperature, che si sono mantenute di molto superiori ai valori attesi. Le precipitazioni sono state praticamente assenti. Nel mese di maggio sono prevalse condizioni di tempo stabile che ha portato ad un deciso ed anomalo aumento delle temperature, con punte di 32 e 33 gradi. A fine mese l'avvicinarsi di un'onda di bassa pressione di origine atlantica, ha permesso la formazione di precipitazioni diffuse e di temporali locali molto intensi. La maggior parte della regione è stata caratterizzata da anomalie positive ad eccezione della parte centrale e sud orientale, dove è piovuto meno della norma.

Nella prima decade del mese di giugno il bacino del mediterraneo è stato interessato dall'afflusso di correnti instabili provenienti da nord-ovest, che hanno determinato condizioni di maltempo con temporali diffusi localmente anche intensi. Le precipitazioni sono risultate superiori alla media in quasi tutta la regione.

Di seguito vengono riportate delle mappe esplicative della situazione al 30/06/2007 sia per l'andamento di temperatura e precipitazione sin qui descritti (Fig. 17.2), sia per i parametri indicatori di siccità ad esse connessi (Fig. 17.3) che sono stati ampiamente descritti al Cap. 15.

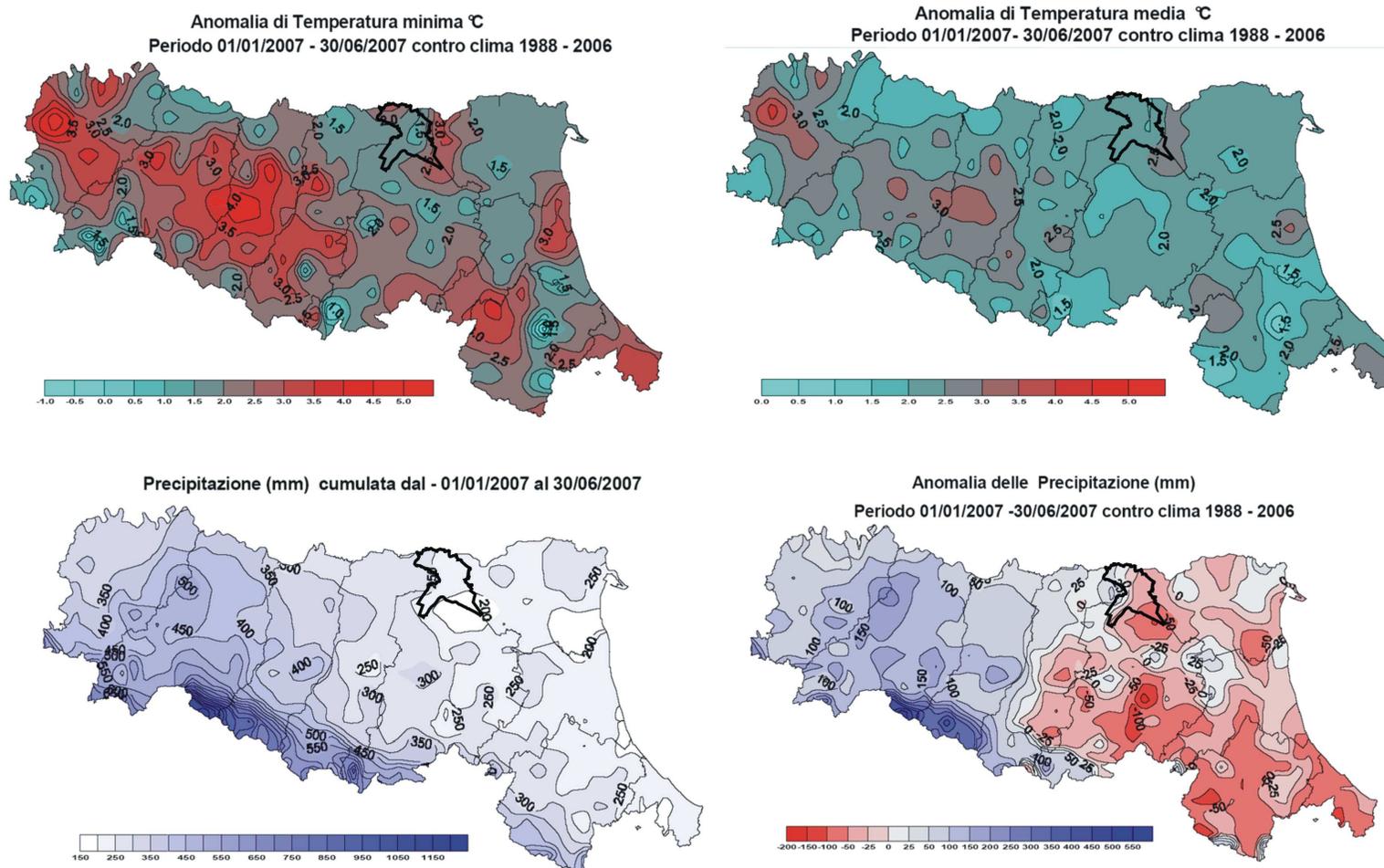


Fig. 17.2: Per l'area dell'Alto Ferrarese l'anomalia termica minima è in media di +1.5°C ma nel comune di Bondeno raggiunge punte superiori a +2.5°C; mentre l'anomalia termica massima è ovunque compresa tra 2 e 2.5°C. Per quanto riguarda invece l'anomalia delle precipitazioni si può notare come l'unica area dell'Alto Ferrarese che non mostra un deficit sia l'estremità più occidentale mentre per il resto dell'area il deficit aumenta spostandosi verso Est, spinge fino a -50 mm nel comune di Poggio renatico.

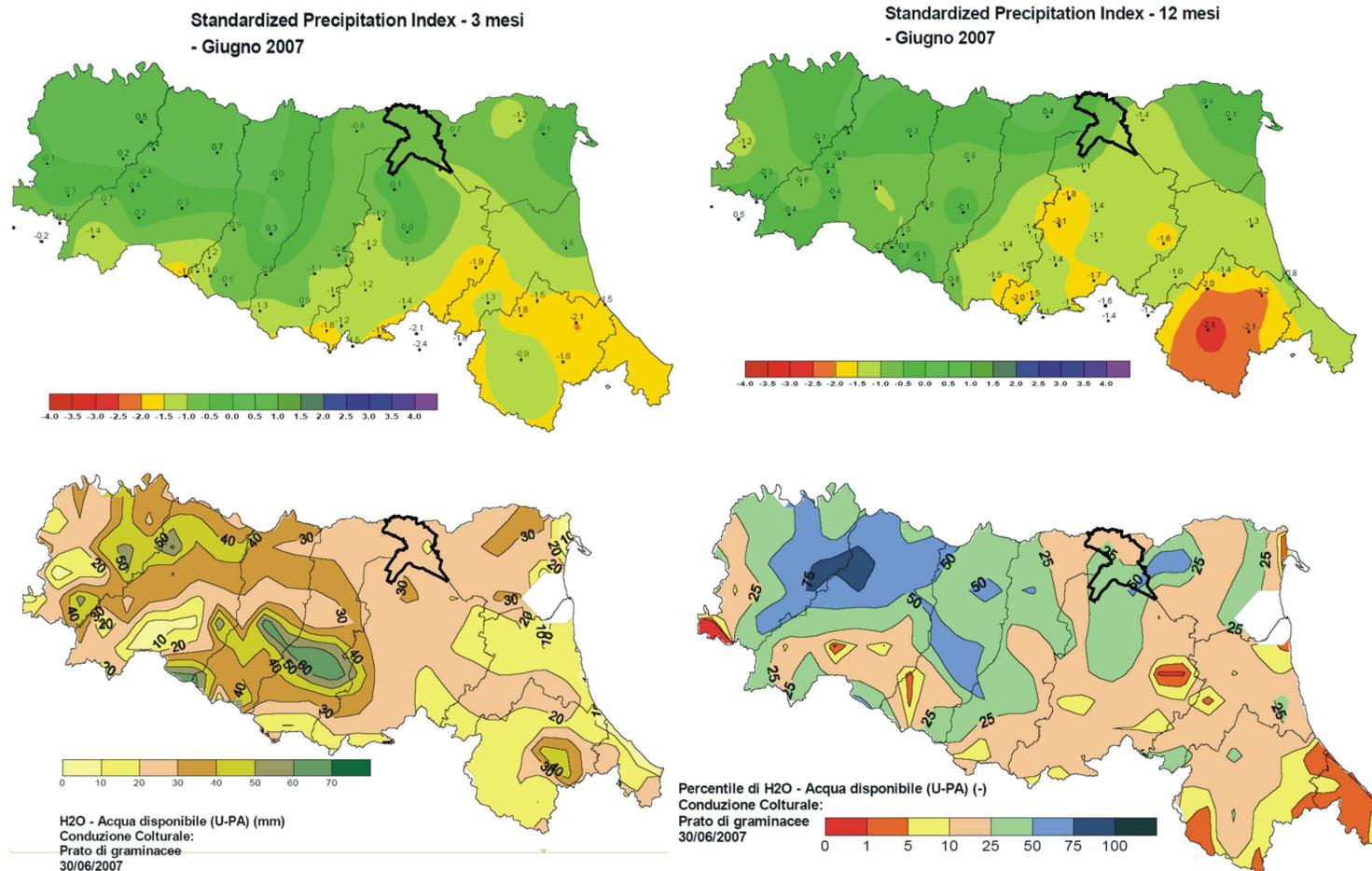


Fig. 17.3: Per quanto riguarda invece l'SPI, si può sottolineare che, a causa della siccità invernale ed autunnale, a fine 2006 esso era già negativo su tutto il territorio regionale. Così, a giugno l'indice calcolato a 3 e 12 mesi, segnala la permanenza di condizioni siccitose anche gravi, dimostrando la presenza di una siccità di tipo idrologico dovuta principalmente alla scarsità delle precipitazioni del 2006. A fine giugno 2007 il contenuto idrico dei terreni in pianura Nell'Alto Ferrarese è compreso tra 20 e 30 mm. Dal confronto con la climatologia (1951-2000) si evidenzia che gran parte dei terreni si trova in una condizione di moderata siccità (tra il 10° e 25° percentile), cui corrispondono tempi di ritorno compresi tra 4 e 10 anni.

Uno degli effetti principali della situazione sin qui descritta riguarda la forte sofferenza a cui sono state sottoposte le colture durante il periodo estivo. Infatti, calcolato a 90 giorni, il deficit traspirativo (Fig. 17.4) risulta elevato in quasi tutta la pianura; in particolare, nel territorio dell'Alto Ferrarese si registrano valori particolarmente elevati, compresi tra 200 mm (porzione Nord-occidentale) e 280 mm (nel comune di Poggio Renatico). In queste aree il percentile del deficit è spesso maggiore di 95, ad indicare situazione di siccità da grave a gravissima, con tempi di ritorno superiori ai 20 anni.

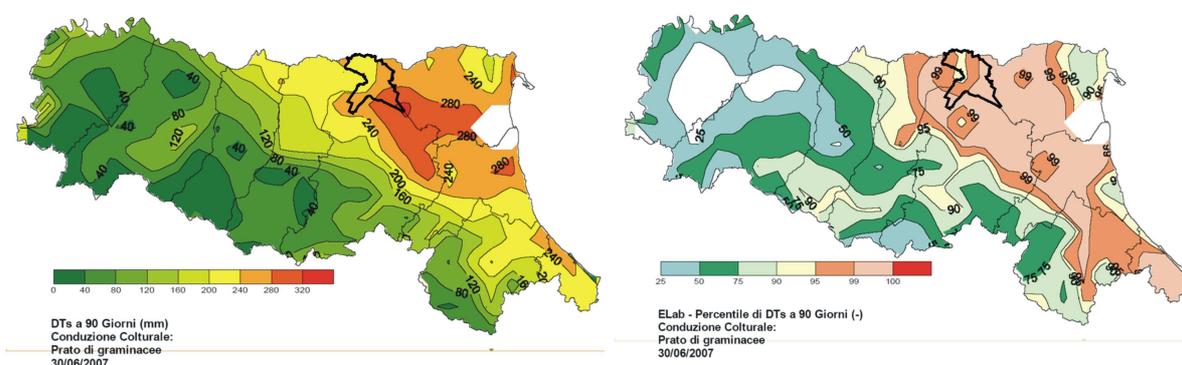


Fig. 17.4: A fine giugno 2007 il deficit traspirativi nell'Alto Ferrarese testimonia una forte stato siccitoso.

Ad aggravare ulteriormente la situazione, si è aggiunta una persistente magra dei principali corsi d'acqua con conseguente difficoltà di approvvigionamento di risorse irrigue.

L'andamento medio mensile del Po per il primo semestre 2007, confrontato con il 2006 e con il lungo periodo, conferma che le portate di Po si sono mantenute inferiori alla media, con eccezione del mese di giugno 2007 nel quale le precipitazioni hanno portato la media mensile ad un valore confrontabile con quello di lungo periodo (Fig. 17.5).

Anche le portate del Reno si mantengono decisamente al disotto della media di lungo periodo, denotando un regime idrologico che risente dei valori minimi di deflusso che si sono registrati nel 2006, con la totale assenza del picco di portata autunnale tipico del caratteristico regime fluviale dell'Appennino. Il volume defluito alla sezione di Casalecchio al termine del primo semestre 2007 risulta il più basso di tutta la serie storica a partire dal 1921.

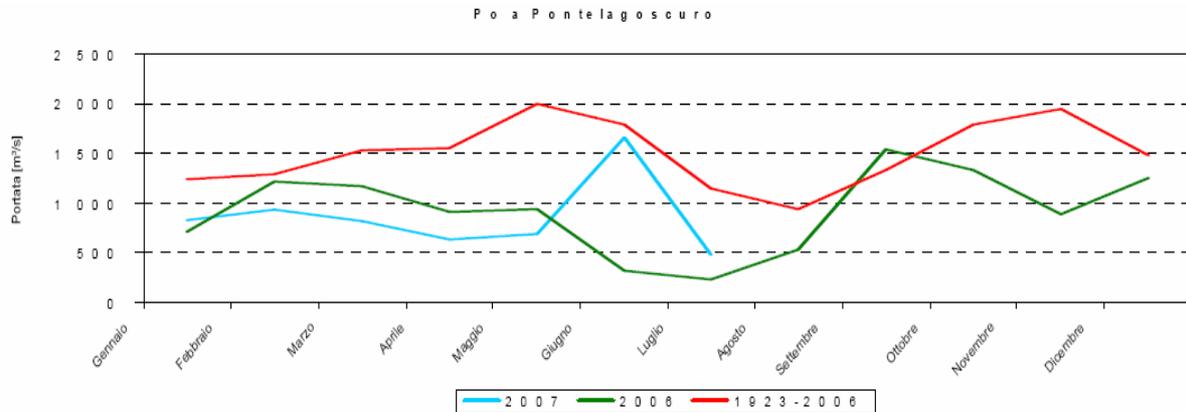


Fig. 17.5: Andamento delle portate medie mensili del Po a Pontelagoscuro a fine giugno 2007.

17.3 Dicembre 2007

L'andamento climatologico nel secondo semestre del 2007 non è quasi per nulla cambiato rispetto a quanto detto per i primi sei mesi dell'anno per cui, di seguito verrà semplicemente mostrata una fotografia della situazione al mese di dicembre 2007.

Le precipitazioni sono state scarse e, confrontate con la climatologia di riferimento, mostrano una forte anomalia negativa specie nei settori collinari della regione e nella sua estremità occidentale (Fig. 17.6). Nel territorio dell'Alto Ferrarese le piogge di dicembre sono pari a circa 30 mm con una anomalia compresa tra -30 e -40 mm.

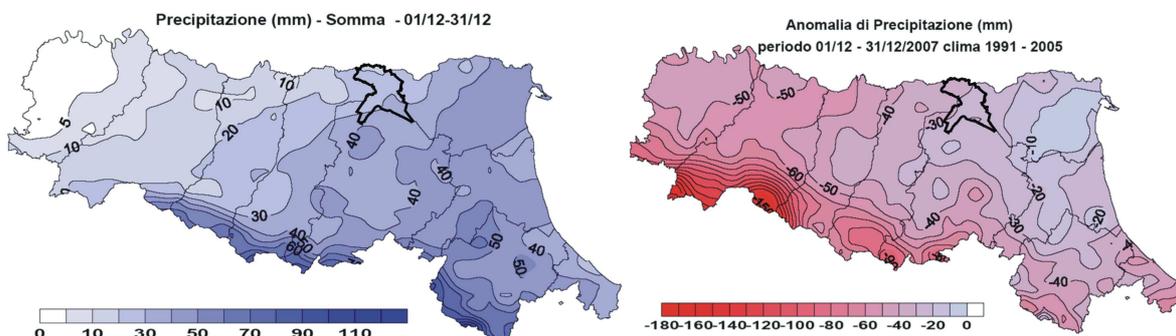


Fig. 17.6: Persistenza di piogge scarse con conseguente anomalia di precipitazione rispetto alla media climatologia.

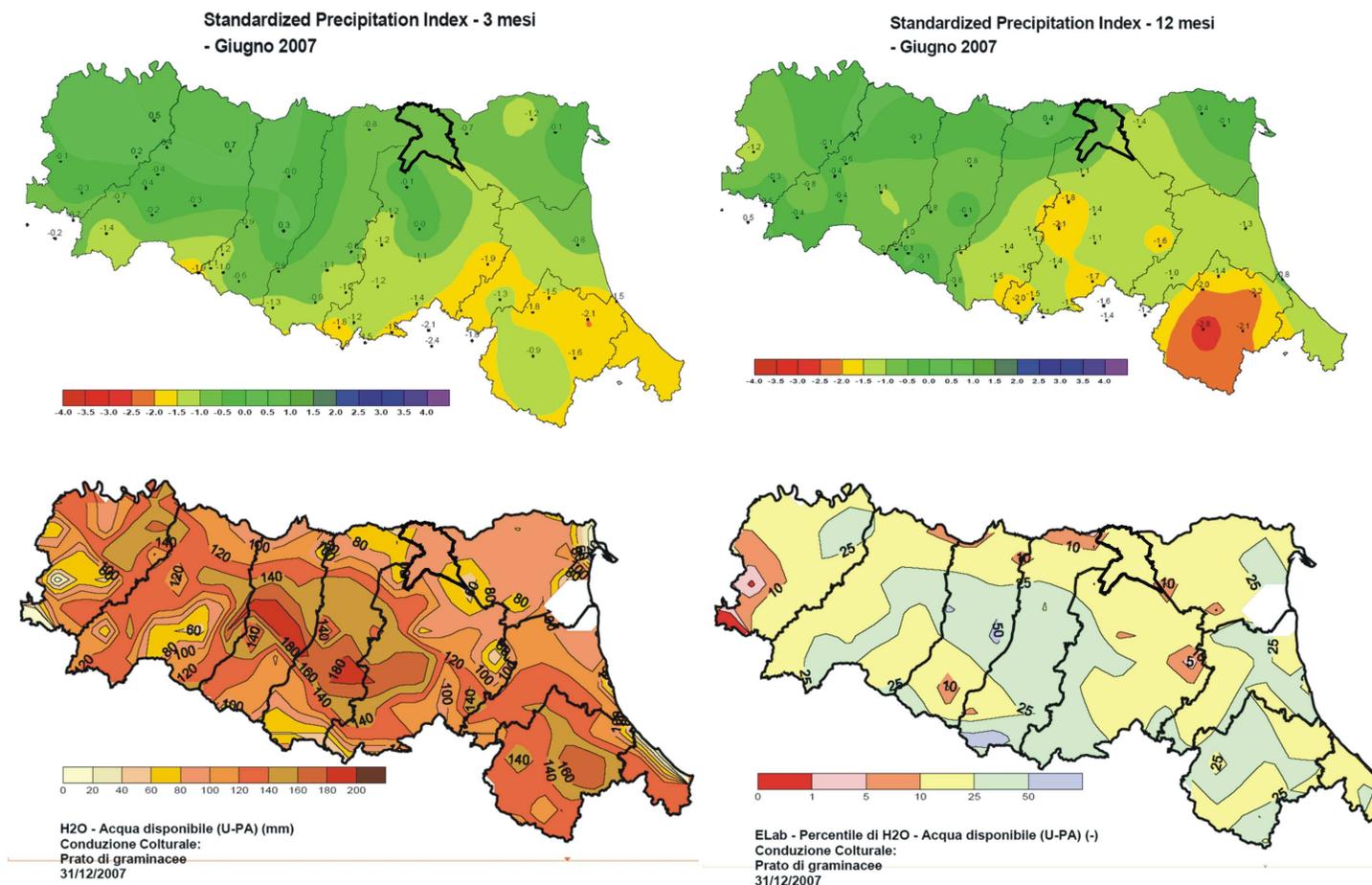


Fig. 17.7: La scarsità di precipitazioni a partire da Luglio e la esigua eccedenza di precipitazioni in autunno hanno portato problemi idrici a tutta la regione. L'SPI a 3 mesi indica la presenza di condizioni normali o al più moderatamente siccitose per il breve periodo su tutto il territorio regionale. Sulle scale temporali più lunghe (12 mesi), permangono valori negativi dell'indice di SPI su gran parte della regione, con valori minimi nella provincia di Ferrara, dove si segnalano condizioni di siccità idrologica estrema. A fine 2007 il contenuto idrico dei terreni in pianura Nell'Alto Ferrarese è compreso tra 80 e 100 mm. Dal confronto con la climatologia (1951-2000) si evidenzia che gran parte dei terreni si trova in una condizione di moderata siccità (tra il 10° e 25° percentile), cui corrispondono tempi di ritorno compresi tra 4 e 10 anni.

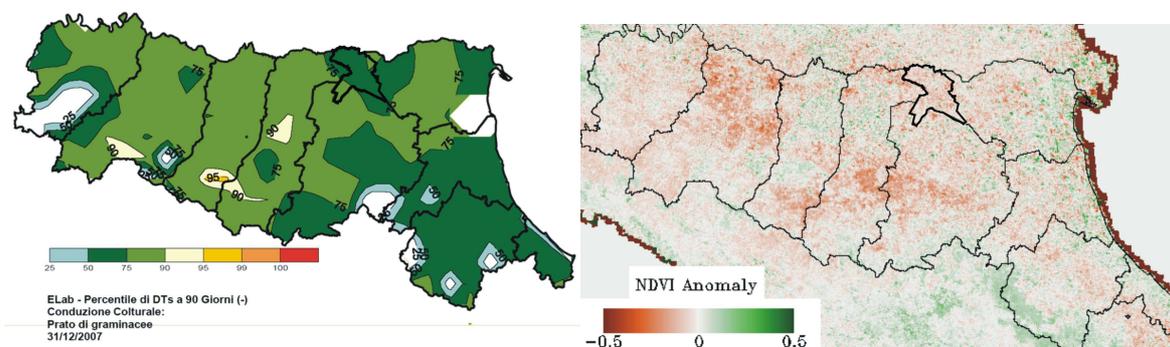


Fig. 17.8: Il Deficit Traspirativo a 90 giorni mostra che il territorio dell'Alto Ferrarese si trova in condizioni di siccità essendo il percentile compreso tra 75 e 90. A conferma dello stress imposto alle colture da questo perdurante stato siccitoso, si riporta la composizione dei valori di NDVI per ottobre 2007 (con tonalità marrone sono indicate le aree di possibile stress da siccità per le colture dovuto ad una diminuzione dell'attività fotosintetica, con tonalità verdi le aree con un buon stato di salute delle colture e con tonalità aree nella media o aree prive di vegetazione).

Come per il primo semestre del 2007, anche nel mese di dicembre 2007, le scarse precipitazioni verificatesi nella regione Emilia-Romagna hanno determinato valori di portata pressoché nulli nei principali affluenti di destra di Po. Nelle stazioni di misura le portate mostrano dall'inizio del mese un andamento decrescente (Fig. 17.9) mantenendo l'andamento medio mensile del Po per il 2007 ben inferiore alla media sul lungo periodo.

	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
1923-2006	1244	1295	1536	1558	1999	1791	1152	940	1333	1794	1947	1486
2003	2002	1190	1003	966	849	521	378	423	633	656	1542	2142
2005	987	785	808	1371	1077	444	364	494	1273	1476	1074	1136
2006	711	1222	1168	916	940	320	237	536	1545	1334	891	1254
2007	832	933	818	635	695	1664	391	564	873	797	988	768

Fig. 17.9: Valori di portata media mensile del Po a Pontelagoscuro per il 2007 (evidenziati in verde).

18 STRATEGIE PER IL FUTURO

I cambiamenti climatici osservati in Emilia Romagna e sopra descritti sono consistenti con quelli indicati dalle proiezioni (AOGCM) dei cambiamenti climatici futuri (cfr Cap. 15).

E' logico aspettarsi che quasi tutte le regioni Europee, e quindi anche l'Emilia Romagna, possano essere colpite negativamente da alcuni impatti dovuti ai cambiamenti climatici, che porteranno con sé delle sfide per molti settori dell'economia, della salute pubblica e dell'ambiente. Infatti, secondo le proiezioni, nell'Europa meridionale i cambiamenti climatici potrebbero causare un peggioramento delle condizioni (alte temperature e siccità), in una zona già vulnerabile alla variabilità climatica, ed una riduzione della disponibilità di acqua, del potenziale di produzione dell'energia idroelettrica, del turismo estivo, e in generale, della produttività dei raccolti. Sempre secondo le proiezioni, vi potrebbe essere un incremento dei rischi per la salute dovuti alle ondate di calore, e della frequenza degli incendi.

Va qui ricordato che alcuni esempi di impatti simili sulla popolazione e sull'ambiente dell'Emilia Romagna sono già stati osservati in occasione delle anomalie climatiche dell'estate 2003: con aumenti di mortalità a Giugno e ad Agosto rispettivamente del 14.3% e del 26.3%; con concentrazione di ozono da Giugno 2003 aumentata gradualmente fino a valori superiori a 180 µg/m³ (ARPA-SIM); con incendi che coprivano 173 ha (0.5% del territorio regionale) e con effetti drammatici sull'agricoltura locale con cali di resa del 50%. Infatti, valori estremi di evapotraspirazione e di deficit nel bilancio idrico, uniti alla crescita nel numero dei parassiti delle piante non hanno solo aumentato le necessità idriche delle culture, ma anche influenzato negativamente la loro crescita fenologica, portando ad una ulteriore riduzione del raccolto.

In ogni caso, pur tralasciando le situazioni veramente eccezionali come quella sopra descritta, i previsti aumenti di temperatura e di variazione delle precipitazioni e gli effetti sul ciclo idrologico richiederanno comunque cambiamenti di gestione in molti settori. Per prepararsi è quindi necessario migliorare la conoscenza su questi fenomeni, lo studio e la ricerca finalizzati alla valutazione degli "impatti" e all'individuazione delle azioni di mitigazione da adottare sui vari sistemi fisici, sociali ed economici coinvolti.

In merito, risoluzioni europee e nazionali, analizzando il quadro della situazione attuale e future individuano nelle risorse idriche (di cui si tratterà estesamente nella Parte Quinta) il bene più a rischio e quindi maggiormente bisognoso di corretta gestione e tutela.

Queste risoluzioni, riprese recentemente anche a livello locale con il Piano di Tutela delle Acque (in riferimento al D.Lgs. 152/99), prevedono di:

- mettere in atto delle strategie tese a controllare le perdite nel sistema acquedottistico, applicando una più razionale gestione facendo leva sul cambiamento degli usi e delle abitudini anche modificando le tariffe in modo appropriato.
- stimolare il settore dell'agricoltura ad utilizzare meglio le risorse già esistenti ed incentivare il settore industriale e commerciale ad applicare politiche di risparmio e riutilizzo dell'acqua per usi non potabili ad esempio con il riuso dei reflui, la desalinizzazione e l'accumulo negli acquiferi.
- implementare la tutela delle risorse idriche, limitando la quantità di concessioni

19 BIBLIOGRAFIA PARTE QUARTA

ALLEN R.G., PEREIRA L.S., RAES D., SMITH M., 1998. Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements. Irrigation and drainage paper 56, FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, ISBN 92-5-104219-5.

ALLEY W.M., 1984. The Palmer Drought Severity Index: limitations and assumptions. *J. Clim. Appl. Met.*, 23: 1100-1109.

BECCHI, I., ANSELMO, V., SACCARDO, I. E PINELLI, P.F., Manuale per il monitoraggio idrografico. U.O. 1.31 G.N.D.C.I., 1994.

CACCIAMANI, C., S. NANNI E S. TIBALDI, 1994: Mesoclimatology of temperature and precipitation in the Northern Italy. *Int. Jou. Of Climatology*

CANALI, L. E GIOVANNELLI, E. «Contributo preliminare allo studio delle magre del Po con metodi statistici e statistico-probabilistici », *Annali Idrologici 1964 – Parte II*.

CATI, L. «Idrografia e idrologia del Po», Pubblicazione n. 19 dell'Ufficio Idrografico del Po, 1981.

DORENBOOS J., KASSAM A.H., 1979. Yield response to water. FAO Irrigation and drainage paper n. 33, Roma, 193 pp.

DRIESSEN P.M., 1986. The water balance of the soil. In: Van Keulen H, Wolf J, (eds). *Modelling of agricultural production: weather, soils and crops*. Pudoc, Wageningen, 479 pp.

DRIESSEN P.M., KONIJN N.T., 1992. *Land-use systems analysis*. Wageningen agricultural university, 230 pp.

FUGAZZA, M. E MOISELLO, U. «Portate di magra del fiume Po», *L'Energia Elettrica*, vol. LV, n. 7-8, 1978.

GIBBS, W.J. AND J.V. MAHER, 1967. Rainfall deciles as drought indicators. *Bureau of Meteorology Bulletin No. 48*, Commonwealth of Australia, Melbourne.

HERSCHY, R.W., *Streamflow measurement*. Elsevier Applied Science Publishers, Londra, 1985.

IPCC, 2001: *Climatic change 2000, contribution of the WG 1 to the third assessment report of the IPCC*. Pubblicato da Cambridge University Press.

MCKEE, T.B., DOESKEN N.J., KLEIST J., 1993. The relationship of drought frequency and duration of time scales. *Proc. Eighth Conference on Applied Climatology, Amer. Meteor. Soc.*, Jan 17-23, 1993, Anaheim CA, 179-186.

MOISELLO, U. «Una distribuzione per lo studio delle magre dei corsi d'acqua», Pavia, Fusi, luglio 1979. *Monitoraggio e caratteristiche idrologiche della magra estiva del fiume Po nell'anno 2006*

MOISELLO, U. «Distribuzioni di probabilità applicate allo studio delle magre», S.G.E.R.I., Centro di Cultura Scientifica "E. Majorana", Corso "Eventi Idrologici Estremi: Piene e Siccità", Erice (Trapani), 22-25 marzo 1980, Atti, Catania, Fondazione Politecnica del Mediterraneo, 1981.

- NANNI S., TIBALDI S., BOTARELLI L., 2003. Il progetto RIRER: la rete unificata idro-meteo-pluviometrica dell'Emilia Romagna. Atti della VII Conferenza nazionale delle agenzie ambientali, Milano, 24-26 novembre 2003 (in preparazione).
- NATALE, L. "Il deflusso delle piene nel medio corso del Po", in Rischi nei grandi bacini fluviali italiani, tavola rotonda (Roma, 23 aprile 1992). Accademia Nazionale dei Lincei, Commissione per l'Ambiente e le Grandi Calamità Naturali, vol. XVII, Roma, Accademia Nazionale dei Lincei, 1993.
- NATIONAL DROUGHT MITIGATION CENTER, 2003. What is drought? <http://www.drought.unl.edu/whatis/what.htm>.
- PALMER, W.C., 1965. Meteorological Drought. Research Paper No. 45, U.S. Department of Commerce Weather Bureau, Washington, D.C., 58 pp.
- PICCOLI, A. «La magra dell'anno 1941-1942 nel bacino padano», L'Acqua, 3, 1943.
- PECORA, S., Flow: calcolo automatico delle misure di portata con il metodo correntometrico – Manuale d'uso, 1998.
- PECORA, S., Allodi, A. Sulla magra invernale del fiume Po nell'anno 2002. L'Acqua, 2, 2003.
- PECORA, S., Allodi, A. Sulla magra estiva del fiume Po nell'anno 2003. ARPA SIM, 2003.
- QUADRELLI R, LAZZERI M, CACCIAMANI C, TIBALDI S., 2001: Observed winter alpine precipitation variability and links with large scale circulation patterns Climate Research 17: 275-2840
- RANTZ, S.E. et al., Measurement and computation of streamflow. U.S. Geological Survey Water Supply Paper 2175. Volume 1: Measurement of stage and discharge, 1982.
- SHAFFER, B.A. AND L.E. DEZMAN, 1982. Development of a Surface Water Supply Index(SWSI) to assess the severity of drought conditions in snowpack runoff areas. Proceedings of the Western Snow Conference, 164-175
- SIMN Norme tecniche per la raccolta e l'elaborazione dei dati idrometeorologici, 1998.
- THOM H.C.S., 1966. Some methods of climatological analysis. WMO N. 199. Technical Note N. 81., Ginevra, 53 pp.
- TOMOZEIU, R., BUSUIOC,A., MARLETTO,V., ZINONI,F., CACCIAMANI,C., 2000: Detection of changes in the summer precipitation time series of the region Emilia-Romagna, Italy; Theoretical and Applied Climatology, 67 , No.3-4,193-200
- TOMOZEIU, R.,LAZZERI, M.,CACCIAMANI,C., 2002: Precipitation fluctuations during winter season from 1960 to 1995 over Emilia- Romagna, Italy Theor. and Appl.Climatol.,72,221-229
- ZINONI F., MARLETTO V., 1999. CRITERIA: bilancio idrico e GIS per la prevenzione dell'impatto ambientale di origine agricola. Agricoltura Ricerca n. 180/181: 102-109.
- ZINONI F., MARLETTO V., 2003. Prime valutazioni di un nuovo indice di siccità agricola. Atti convegno Aiam 2003, Bologna 24-25 maggio, 232-238.

PARTE QUINTA

ASSETTO IDROGEOLOGICO DELL'ALTO FERRARESE

20 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

20.1 "Riserve idriche sotterranee della Regione Emilia-Romagna"

20.2 "Risorse idriche sotterranee della Provincia di Ferrara"

21 ELABORAZIONI PIEZOMETRICHE

21.1 Gli acquiferi confinati

21.2 L'acquifero libero

22 CARATTERISTICHE GEOCHIMICHE DELLE ACQUE SOTTERRANEE

22.1 Geochimica del bacino idrogeologico della Pianura Emiliano-Romagnola

22.2 Geochimica dei serbatoi acquiferi della Provincia di Ferrara

23 LO STATO QUALITATIVO DELLA RISORSA IDRICA

24 CRITICITÀ E POTENZIALITÀ DEI SERBATOI ACQUIFERI FERRARESI

25 BIBLIOGRAFIA PARTE QUINTA

20 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

In questo capitolo verranno presentati due studi fondamentali sulle riserve idriche sotterranee della Regione Emilia Romagna. Il primo edito nel 1998 riguarda gli acquiferi dell'intera regione e permette quindi di avere un quadro della situazione generale in cui vanno inquadrare le risorse dell'Alto Ferrarese; mentre il secondo del 2007 si focalizza sulla Provincia di Ferrara e fornisce quindi informazioni dettagliate anche sull'area oggetto del presente lavoro.

20.1 "Riserve idriche sotterranee della Regione Emilia-Romagna"

Questo studio, approfondendo in modo sostanziale le conoscenze relative all'acquifero emiliano-romagnolo, ha permesso di riconoscere sulla verticale tre gruppi acquiferi (denominati dall'alto al basso A, B e C), separati fra loro tramite l'interposizione di importanti acquitardi (Fig.20.2). Ciascun gruppo acquifero a sua volta è stato suddiviso in tredici unità idrostratigrafiche gerarchicamente inferiori, denominate complessi acquiferi, secondo un modello di suddivisione gerarchico (ENI-AGIP, 1988) basato sul volume complessivo di acquiferi utili in ciascuna unità e su spessore, continuità ed estensione areale del livello acquitardo di ciascuna unità (Fig. 20.1).

UNITÀ IDROSTRATIGRAFICHE				ETÀ (milioni di anni)	SCALA CRONO- STRATIGRAFICA (milioni di anni)
GRUPPO ACQUIFERO	COMPLESSO ACQUIFERO	SISTEMA ACQUIFERO	SISTEMA ACQUITARDO		
A	A1			~ 0.12	PLEISTOCENE MEDIO
	A2				
	A3				
	A4				
B	B1			~ 0.35-0.45	
	B2				
	B3				
	B4				
C	C1			~ 0.65	
	C2				
	C3				
	C4				
	C5				
ACQUITARDO BASALE				~ 3.9	0.89 PLEISTOCENE INFERIORE 1.72 PLIOCENE MEDIO-SUPERIORE 3.55 PLIOCENE INF. MIOCENE

Fig. 20.1: Schema idrostratigrafico

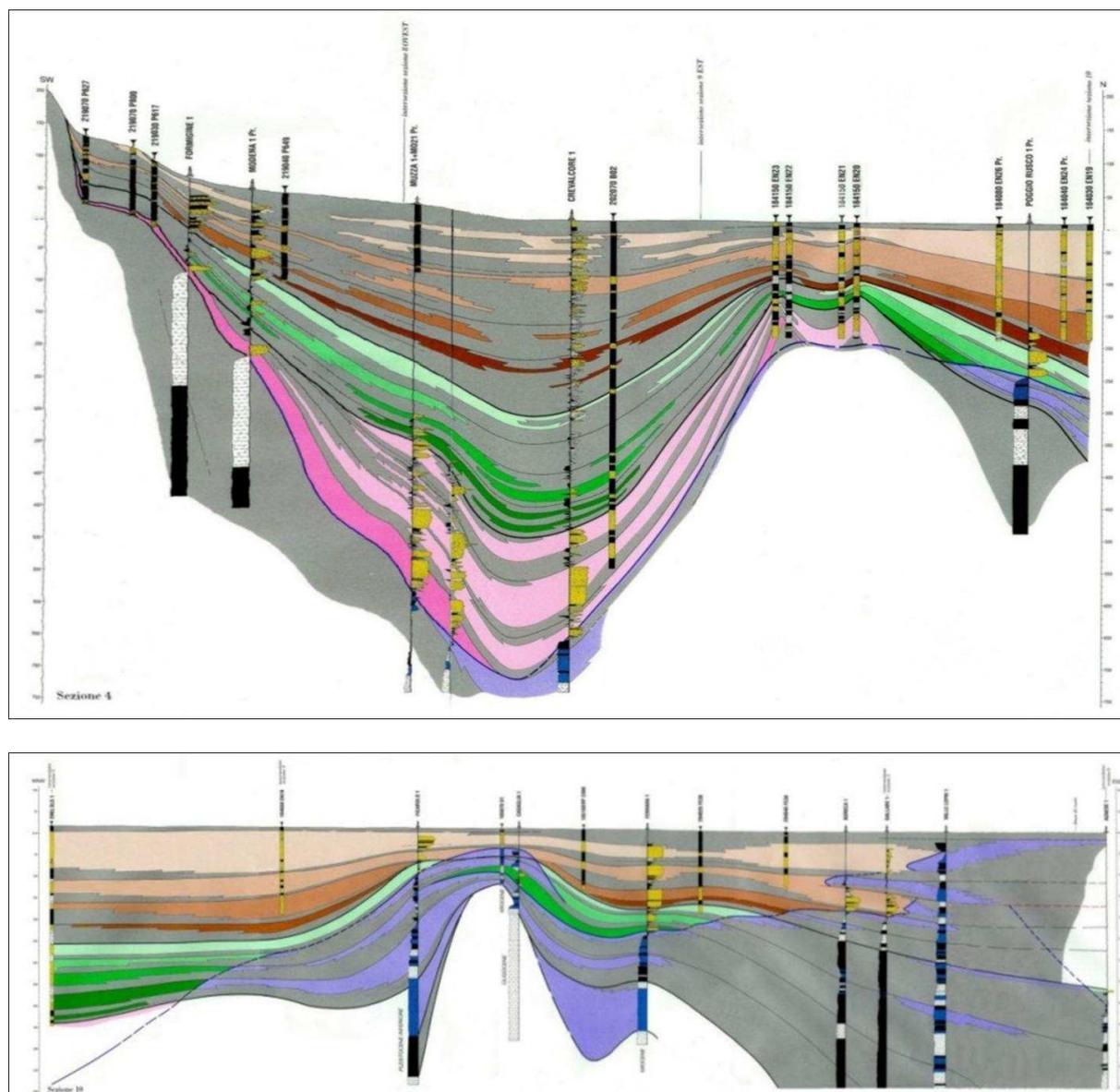


Fig. 20.2: Sezioni Idrostratigrafiche del limite Ovest del territorio dell'Alto Ferrarese (in alto) e del limite Nord (in basso)

È interessante osservare come in entrambe le sezioni, in prossimità della struttura geologica denominata Dorsale Ferrarese, sono evidenti le riduzioni dei sedimenti terziari asportati durante l'emersione della dorsale nel Pleistocene medio.

Si noti inoltre come i tre Gruppi Acquiferi siano separati da barriere di permeabilità di estensione regionale, che isolano perfettamente i diversi sistemi di circolazione e quindi le risorse allocate nei diversi Gruppi Acquiferi cosicché ciascuno di essi è caratterizzato da un differente stato quali/quantitativo.

Dal punto di vista genetico, gli acquiferi individuati sono essenzialmente di due tipi (Fig. 20.3): a Sud vi sono le ghiaie che i fiumi appenninici depositano ed hanno depositato appena usciti dalle valli, allo sbocco in pianura che formano dei grossi corpi ghiaiosi sovrapposti gli uni agli altri per alcune centinaia di metri di spessore (conoidi); a Nord vi sono le sabbie che il Po ha sedimentato lungo il suo percorso e nel suo apparato deltizio (pianura alluvionale).

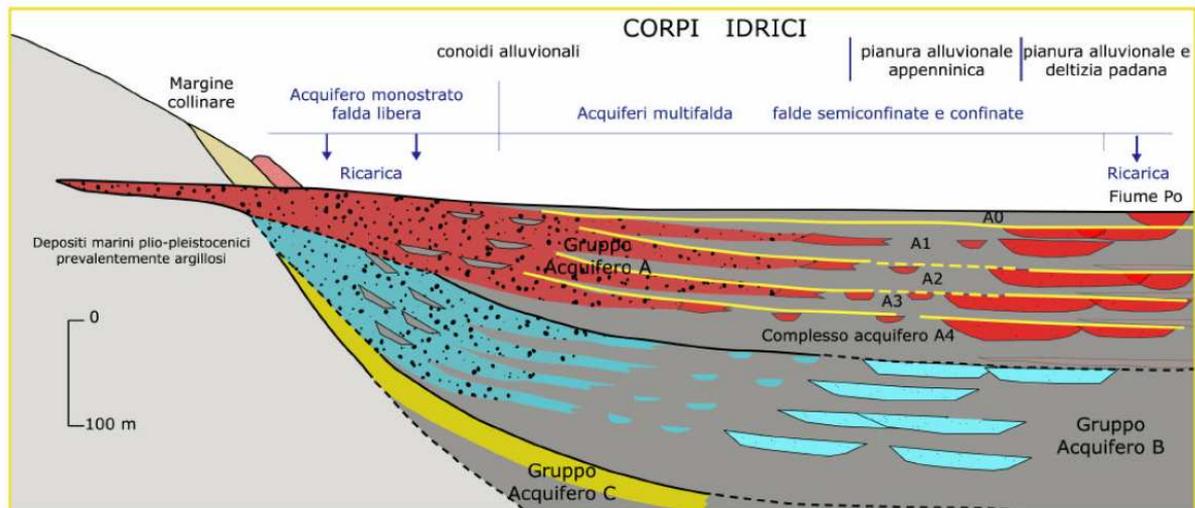


Fig. 20.3: Distribuzione schematica dei corpi idrici, e delle unità idrostratigrafiche nel sottosuolo della pianura emiliano-romagnola

Gli acquiferi costituiti dalle ghiaie appenniniche si congiungono lateralmente a quelli formati dalle sabbie padane tra Piacenza e Parma, mentre a partire dal reggiano sino al mare vi è un ampio e spesso corpo di depositi della pianura alluvionale formati prevalentemente da limi ed argille che si interpongono tra essi mantenendoli fisicamente separati ed impedendone il contatto idraulico (*acquitardi*).

La distinzione dei sistemi padani rispetto a quelli appenninici si basa sul fatto che i corpi sabbiosi di origine padana sono molto più abbondanti e più spessi di quelli appenninici ed hanno una maggiore continuità laterale, a scala delle decine di chilometri.

L'area dell'Alto Ferrarese è interessata solo dal secondo tipo di acquifero ed in particolare dal complesso idrogeologico della pianura alluvionale e deltizia padana, costituito quasi esclusivamente da sabbie grossolane e medie (Fig. 20.4).

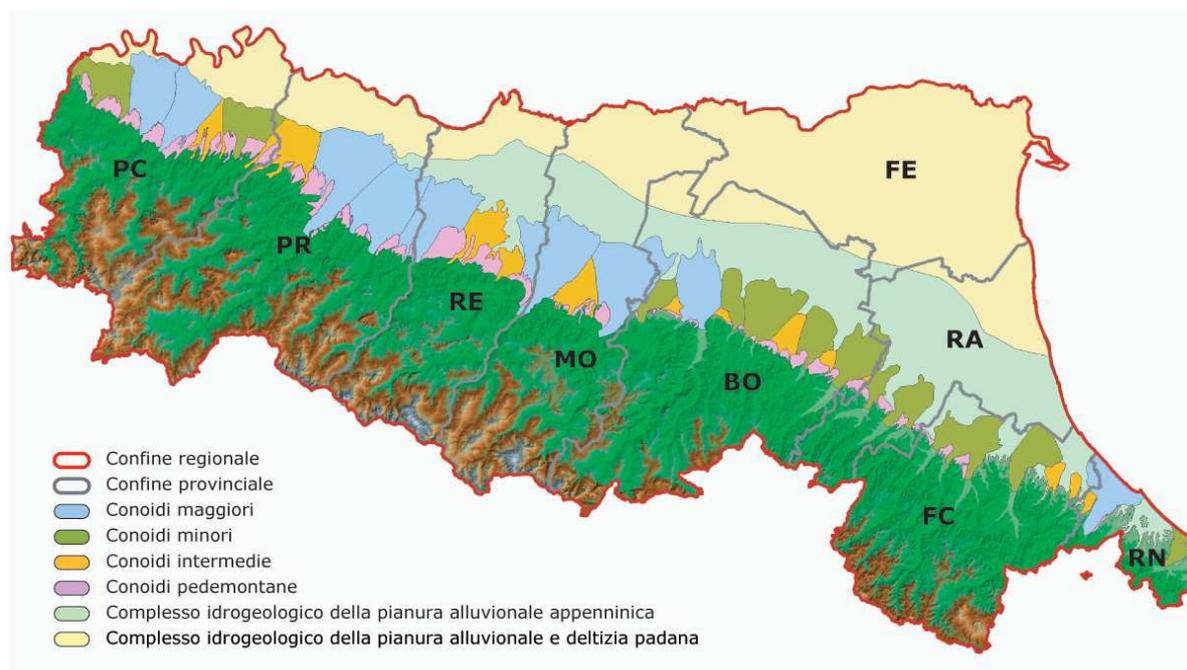


Fig. 20.4: Distribuzione dei complessi idrogeologici riconosciuti nella pianura emiliano-romagnola

All'interno di questa unità sono comunque riconoscibili alternanze cicliche lungo la verticale, organizzate al loro interno nel modo seguente:

- la base, spesso mediamente una decina di metri, è per lo più costituita da limi-argillosi;
- la porzione intermedia, di spessore decametrico con continuità laterale di decine di chilometri, è composta da depositi limoso-sabbiosi spesso alternati a depositi sabbiosi;
- la parte sommatiale, di spessore decametrico con continuità laterale di decine di chilometri, è caratterizzata dalla presenza di depositi sabbiosi.

Localmente, in particolare nelle zone di alto strutturale interne al bacino, lo spessore di depositi grossolani può arrivare a costituire la quasi totalità dello spessore dell'unità.

Nonostante complessivamente vi sia una elevata percentuale di depositi sabbioso-grossolani, la circolazione idrica all'interno di questi depositi è complessivamente ridotta. Gli scambi fiume-falda sono possibili solamente con gli acquiferi meno profondi (A1), mentre nei sottostanti il flusso avviene in modo francamente compartimentato in condizioni confinate. I valori medi di gradiente idraulico sono quindi pari a circa 0.2-0.3 ‰. Gli altri principali parametri idraulici dei diversi Gruppi Acquiferi, in corrispondenza dell'Alto Ferrarese, vengono riportati nella tabella seguente.

Gruppo Acquifero A	Gruppo Acquifero B	Gruppo Acquifero C
	Pianura Alluvionale ad alimentazione appenninica (zona di Bologna) Km = 10⁻⁵ m/s S_{sm} = 10⁻⁵ m⁻¹	Delta-conoide distale ad alimentazione appenninica (zona di Ferrara) km = 10⁻⁵ m/s Delta-conoide distale ad alimentazione appenninica (zona Bologna) Km = 10⁻⁴ m/s S_{sm} = 10⁻⁶ m⁻¹
Riempimenti di Canali del delta del paleo Po (fascia Modena-Ferrara) Km=10⁻⁴ m/s S_{sm} = 10⁻⁵ m⁻¹	Piana deltizia del paleoPo (zona di Bologna) Km = 10⁻⁴ m/s S_{sm} = 10⁻⁴- 10⁻⁶ m⁻¹	
	Lobi deltizi distali del paleo Po (zona di Ferrara) n_e= 32 - 44%.	Lobi deltizi del paleo Po (zona di Bologna) Km = 10⁻⁵ m/s S_{sm} = 10⁻⁶ m⁻¹ n = 34%

Tab. 20.1: Parametri idraulici per i tre Gruppi Acquiferi nell'Alto Ferrarese (RER 1998)

20.2 “Risorse idriche sotterranee della Provincia di Ferrara”

Tra i Gruppi Acquiferi sin qui descritti quello di maggiore interesse è sicuramente il primo acquifero confinato (A) che è attualmente sfruttato in modo intensivo. Al contrario il Gruppo B è sfruttato solo localmente mentre il Gruppo C, isolato rispetto alla superficie per gran parte della sua estensione, è raramente sfruttato. Essendo una risorsa così importante per il territorio, il Gruppo Acquifero A è ovviamente molto più studiato degli altri ed è infatti l'oggetto principale della pubblicazione “Risorse idriche sotterranee della Provincia di Ferrara” (2007) di cui verranno di seguito riportati i tratti salienti con particolare attenzione a quanto emerso sulla situazione dell'Alto Ferrarese.

Lo studio ha contribuito alla definizione dei limiti fisici dei serbatoi acquiferi, delle barriere di permeabilità associate e dell'interfaccia tra l'acqua dolce e l'acqua salmastra, utilizzando i seguenti dati (Fig. 20.5):

- Sismica a riflessione per esplorazione di idrocarburi
- Pozzi AGIP
- BDGR (La Banca Dati Geognostici Regionale) del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli (SGSS), contenente: pozzi per acqua, prove penetrometriche e sondaggi.

Per la caratterizzazione chimica e geochimica isotopica delle acque sotterranee sono stati utilizzati:

- Dati chimici ed isotopici della Rete di Monitoraggio Regionale sia ARPA che SINA
- Log geofisici dei pozzi AGIP
- Campioni prelevati dai sondaggi del SGSS analizzati da HERA S.p.a

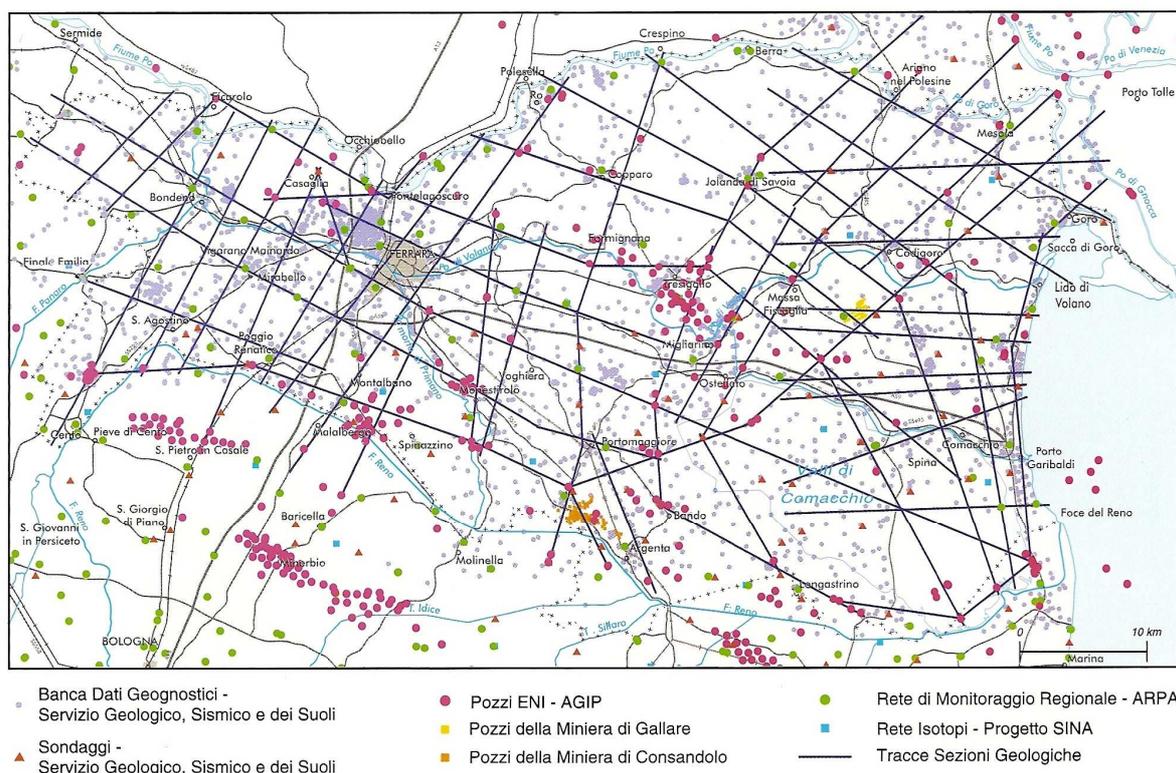


Fig. 20.5: Ubicazione della rete di sezioni geologiche e della Banca Dati Geognostici del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli

All'interno del Gruppo Acquifero A, sono state individuate 5 Unità Idrostratigrafiche principali denominate Complessi Acquiferi: rispettivamente dall'alto verso il basso Complesso Acquifero A0 (l'acquifero freatico) A1, A2, A3 e A4. Visto il buon dettaglio stratigrafico raggiunto, è stato possibile suddividere i Complessi Acquiferi A1 e A2 rispettivamente in A1-I/A1-II e A2-I/A2-II che rappresentano delle Unità Idrostratigrafiche alla scala locale (provincia di Ferrara). In particolare i Complessi Acquiferi A1-II e A2-II hanno un'estensione ed uno spessore dei depositi poroso-permeabili (sabbie) molto inferiore rispetto ai Complessi Acquiferi A1-I e A2-I.

Dall'interpretazione e correlazione delle sezioni geologiche ed idrostratigrafiche è stato possibile produrre le mappe delle isopache (spessore cumulativo dei singoli sistemi acquiferi) e delle isobate (tetto di ogni complesso acquifero), che sono la base per il calcolo del volume di ogni singolo sistema acquifero sfruttabile per scopi idropotabili, agricoli o industriali, o per stimare la profondità oltre la quale, nelle varie aree, è inutile o dannoso per la qualità delle acque estratte approfondire i pozzi.

In generale l'andamento delle isopache e delle isobate è dettato sia dalla morfologia del sistema deposizionale fluvio-deltizio padano che dalla presenza degli archi strutturali sepolti; in particolare questi ultimi condizionano maggiormente i Complessi Acquiferi più antichi, A4 e A3.

Complesso Acquifero A0 (sistema acquifero freatico): è costituito, prevalentemente da corpi sabbiosi nastriformi, sia di origine padana che appenninica. I corpi sabbiosi appenninici occupano gran parte del territorio provinciale, amalgamandosi con i depositi padani solo nell'estremo settore nord. Spesso questi depositi sabbiosi, si incassano all'interno di argille e limi di piana deltizia o di palude/laguna che formano l'aquitarzo del sistema acquifero A0. Solo raramente si hanno dei depositi sabbiosi, per lo più di origine padana, che sono in grado, visto il loro spessore, di amalgamarsi con il sistema acquifero sottostante A1-I. Questi corpi interessano in particolar modo il settore nord occidentale della provincia (Alto Ferrarese), dove è stato rinvenuto un paleocanale che raggiunge spessori di 15-18 m, una larghezza di 2-3 km e si sviluppa da Stellata a Bondeno per poi proseguire fino a Ferrara.

Complesso Acquifero A1-I: nel settore orientale della provincia di Ferrara si trova a profondità massime di circa -50/-60 m s.l.m. con spessori che raggiungono i 40-50 m per poi risalire a -5/-10 m s.l.m. nel settore occidentale, con spessori di 15-20 m (Fig. 20.6). Qui esso continua verso Sud amalgamandosi con le sabbie appenniniche attribuibili ai depositi di riempimento dei canali fluviali del Reno e si chiude poi passando a depositi limoso-argillosi di piana alluvionale (nel territorio del comune di Cento).

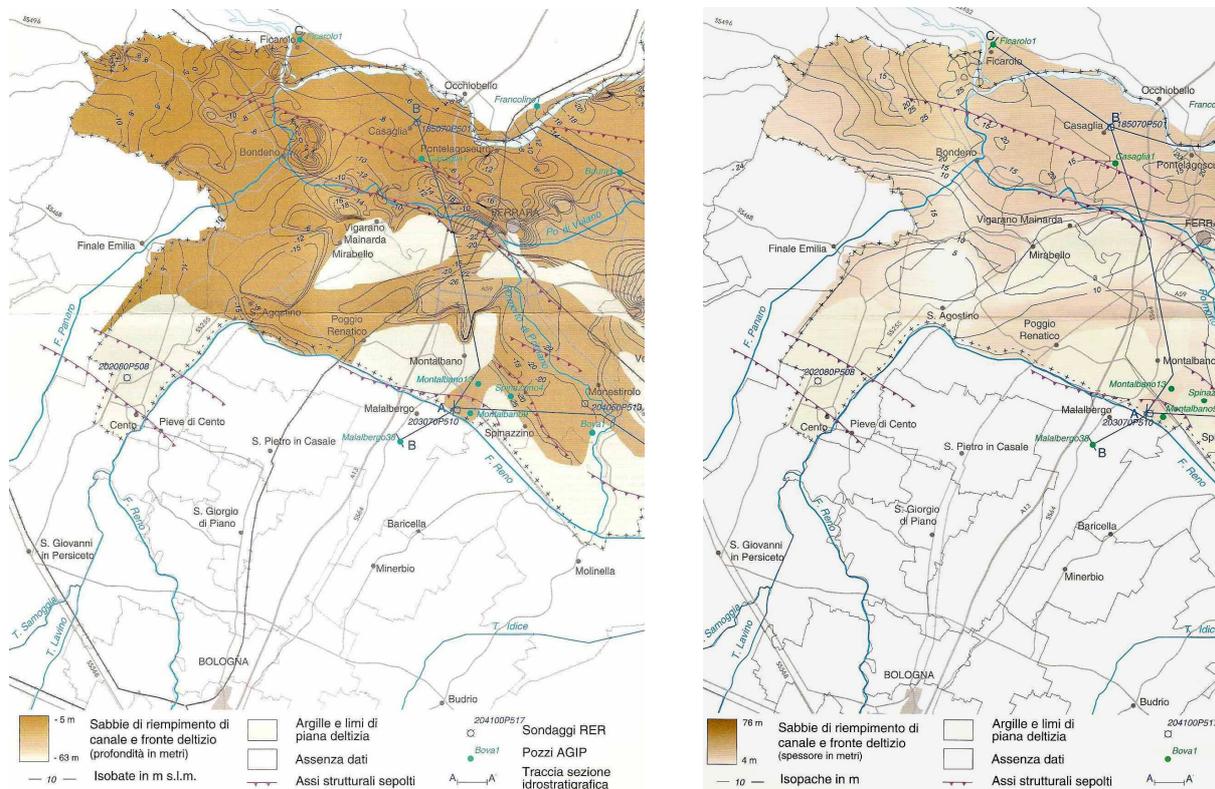


Fig. 20.6: Mappa delle Isobate di Tetto (a sinistra) e delle Isopache (a destra) dei depositi poroso-permeabili riferita al Complesso Acquifero A1-I

Per quanto riguarda le aree di ricarica del sistema acquifero A1-I, possiamo dire che esse corrispondono ad ampi settori di conoide e di depositi di terrazzo sia di origine appenninica che alpina. Questi settori vista la loro distanza, vengono considerati come zone di ricarica distale. Altre aree di ricarica remota risultano essere alcuni settori sul fondo del Mare Adriatico. Va sottolineato che i settori menzionati, visto il loro carico idraulico, fungono principalmente come zone di ricarica e non come zone di scarica per il sistema acquifero in questione; infatti la piezometria di A1-I nel settore orientale della provincia di Ferrara risulta, a causa dei pompaggi e per la maggior parte del tempo nell'arco di un intero anno, di 1-2 m sotto il livello del mare. Quindi la "scarica" del sistema acquifero A1-I è essenzialmente dovuta ai pompaggi che ne hanno notevolmente alterato il sistema di flusso. Una fonte di ricarica diretta molto importante di A1-I sono l'alveo attuale del fiume Po e le zone adiacenti di piana a meandri; infatti in ampi tratti del suo corso l'alveo incide direttamente le sabbie di A1-I oppure incide i depositi sabbiosi (paleocanali) appartenenti ad A0 che a loro volta si amalgamano con il serbatoio acquifero sottostante (A1-I) alimentandolo.

Complesso Acquifero A1-II: è distinto in due corpi principali, uno ad est di origine marina ed uno ad ovest di origine continentale che si sviluppa appunto su buona parte del territorio dell'Alto Ferrarese (Fig. 20.7). Quest'ultimo raggiunge spessori di circa 12-15 m e si colloca essenzialmente all'interno della depressione strutturale compresa tra l'alto di Poggio Renatico-Spinazzino e quello di Casaglia.

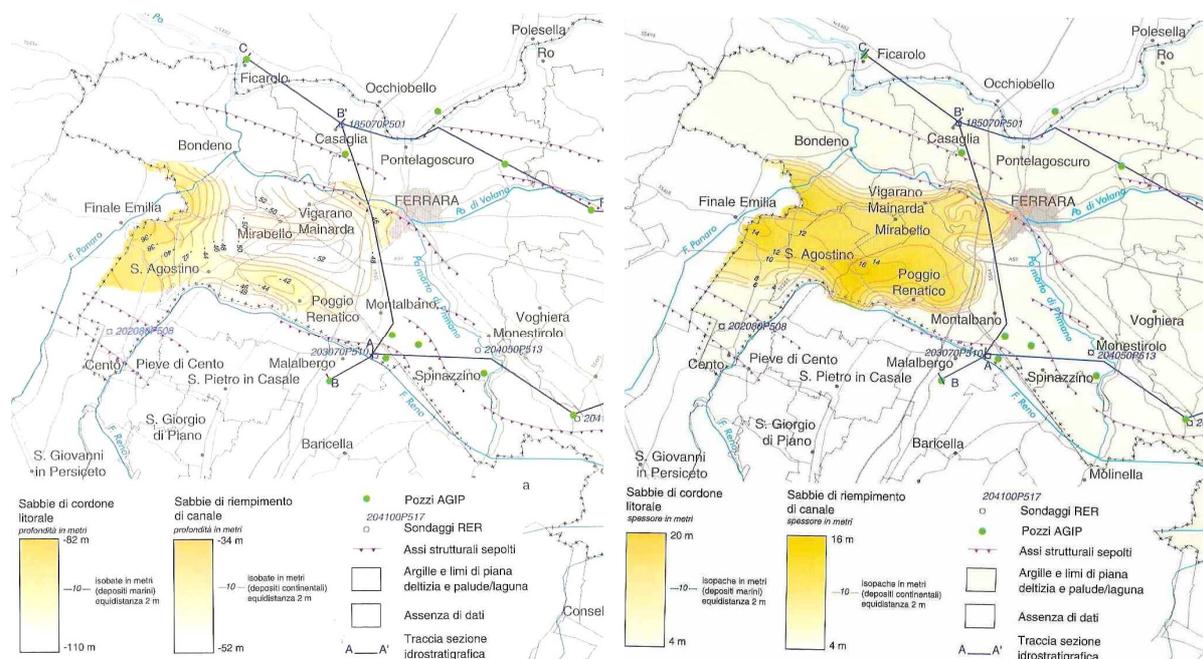


Fig. 20.7: Mappa delle Isobate di Tetto (a sinistra) e delle Isopache (a destra) dei depositi poroso-permeabili riferita al Complesso Acquifero A1-II

Complesso Acquifero A2-I: raggiunge la maggiore estensione tra tutti i complessi acquiferi studiati. La profondità del tetto passa da circa -40 m s.l.m. nel settore nord-occidentale (Fig. 20.8) a circa -130/-140 m s.l.m. nel settore orientale.

Anche in questo caso, come per il Sistema A1-I, i settori appartenenti ai sistemi di conoide appenninici e alpini fungono da aree di ricarica remota, anche se per areali più ristretti e con posizione topografica più elevata. In provincia di Ferrara l'A2-I, non viene ricaricato direttamente dal fiume Po e nemmeno i suoi depositi affiorano in Mare Adriatico. Come per il sistema acquifero A1-I anche le zone di scarica (sorgenti in uscita) di A2-I sono condizionate esclusivamente dal regime di pompaggio, con effetti talvolta molto negativi sul territorio. Si noti ad esempio come nell'estremo settore sud-occidentale del territorio ferrarese (Cento), dove lo stesso sistema acquifero è filtrato da un ingente quantitativo di pozzi ad uso industriale, vi siano dei tassi di subsidenza particolarmente elevati (2-2,8 cm/anno). In questo settore utilizzando i dati disponibili (ARPA-Ingegneria Ambientale, a supporto del PTA e dati della BDGR del SGSS), si stima che la portata complessiva emunta da A2-I sia di circa 50-60 l/s, ovvero 1.5-2 milioni di metri cubi per anno. Oltretutto, come sopra riportato, proprio in questa zona il serbatoio acquifero passa verso sud dal sistema fluviale padano, con maggiori spessori e quindi a maggiore trasmissività, al sistema fluviale appenninico (Paleo-Fiume Reno) che ha spessori notevolmente minori.

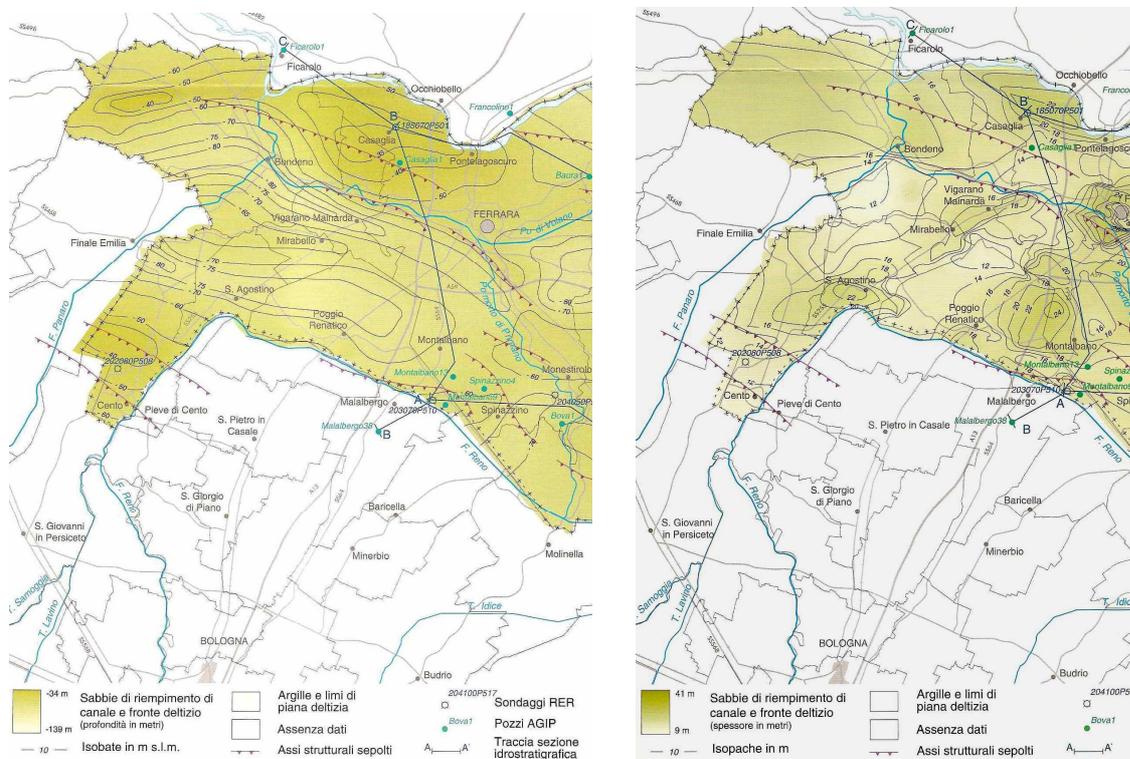


Fig. 20.8: Mappa delle Isobate di Tetto (a sinistra) e delle Isopache (a destra) dei depositi poroso-permeabili riferita al Complesso Acquifero A2-I

Complesso Acquifero A2-II: è un corpo sabbioso di origine marina che si chiude progressivamente verso ovest ed infatti esso è totalmente assente nell'Alto Ferrarese.

Complesso Acquifero A3: anche qui l'andamento della superficie di tetto risulta influenzato più dalla geometria degli assi strutturali sepolti e meno dalle geometrie deposizionali. Infatti esso si trova a profondità di circa -70/-90 m s.l.m. nelle zone di alto strutturale per poi arrivare gradualmente a una profondità massima di -220/-230 m nel settore orientale dove gli assi strutturali si immergono verso E-NE (Fig. 20.9).

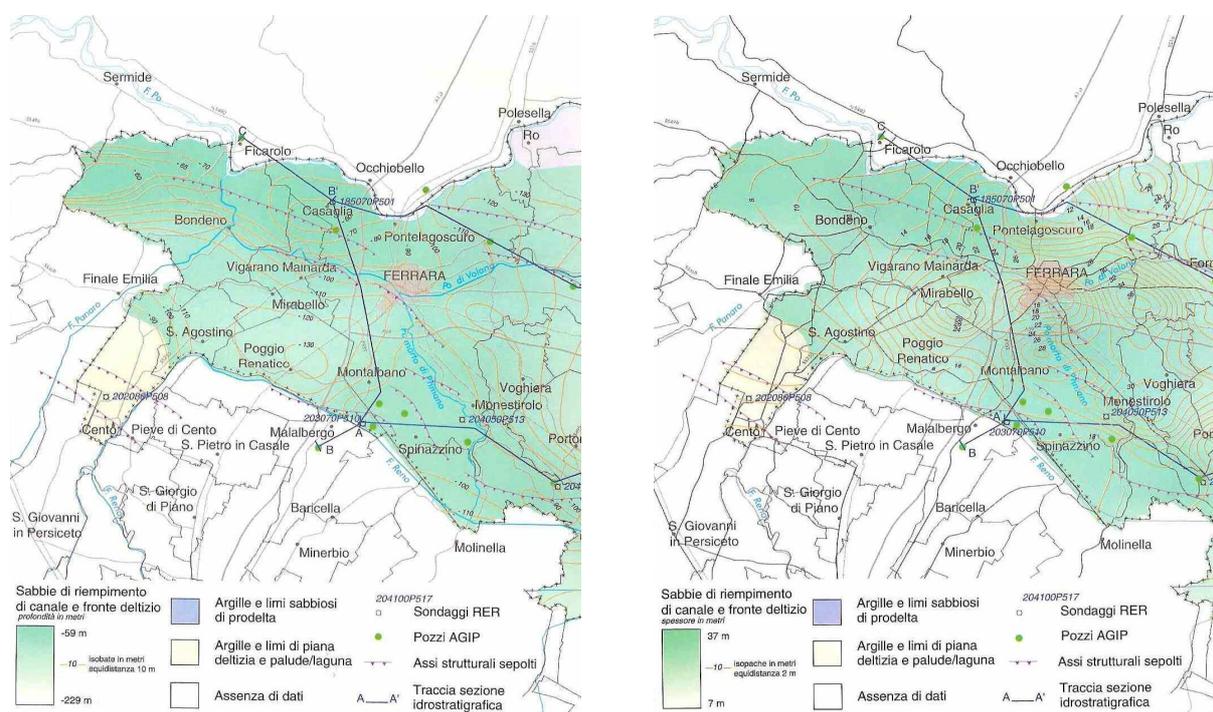


Fig. 20.9: Mappa delle Isobate di Tetto (a sinistra) e delle Isopache (a destra) dei depositi poroso-permeabili riferita al Complesso Acquifero A3

Complesso Acquifero A4: l'andamento della superficie di tetto risulta fortemente influenzato dalla geometria degli assi strutturali sepolti ed in parte dall'architettura stratigrafico-deposizionale (Fig. 20.10). Infatti esso si trova a circa -90/-100 m s.l.m. nelle zone di alto strutturale per poi arrivare gradualmente a una profondità massima di -260/-280 m nell'estremo settore orientale, dove gli assi strutturali si immergono verso E-NE. Per quanto concerne le aree di ricarica dei sistemi acquiferi A3 e A4, anche in questo caso appartengono ai depositi terrazzati dei sistemi di conoide sia alpini che appenninici ma per areali più limitati rispetto alle aree di ricarica di A1 e A2. Questi sistemi acquiferi, vista la loro profondità, non vengono interessati dal ciclo idrologico attuale essendo saturi di acque fossili o connate.

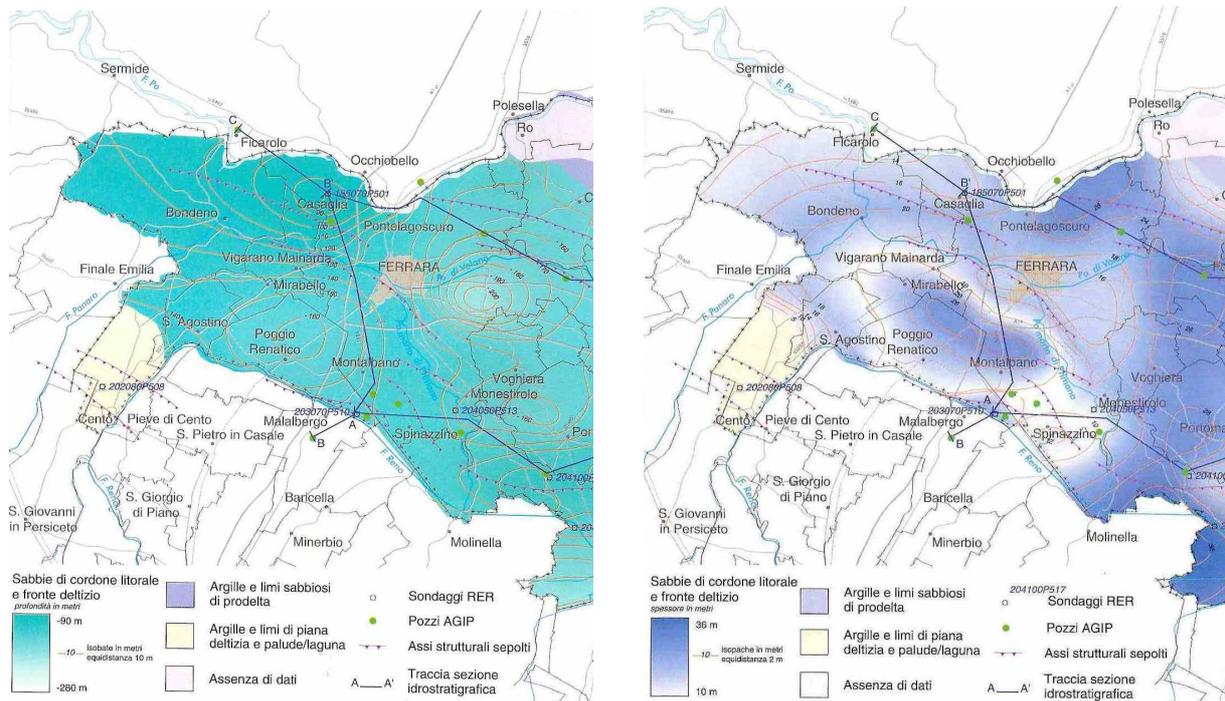


Fig. 20.10: Mappa delle Isobate di Tetto (a sinistra) e delle Isopache (a destra) dei depositi poroso-permeabili riferita al Complesso Acquifero A4

Come accennato in precedenza, grazie alle mappe strutturali è possibile calcolare le riserve permanenti dei diversi sistemi acquiferi. A titolo esemplificativo, per gli acquiferi che presentano buone qualità, nel caso di A1-I, si stima approssimativamente un volume stoccato di circa 330 milioni di m³; mentre nel caso di A2-I si stima una riserva permanente ammonta a circa 400 milioni di m³ vista la maggiore estensione di A2-I rispetto ad A1-I.

21. ELABORAZIONI PIEZOMETRICHE

21.1 Gli acquiferi confinati

Vista la quantità di misure nell'annata 1998 sui pozzi monofiltro appartenenti ai complessi acquiferi A1-I e A2-I, per questi due sistemi è stato possibile elaborare una dettagliata rete di flusso.

In Figura 21.1 sono evidenziate le linee equipotenziali, suddivise in intervalli di 0.5 m, i principali campi pozzi che attingevano dal sistema acquifero A1-I nell'Ottobre 1998, le principali linee di flusso, gli spartiacque e gli assi di drenaggio sotterranei.

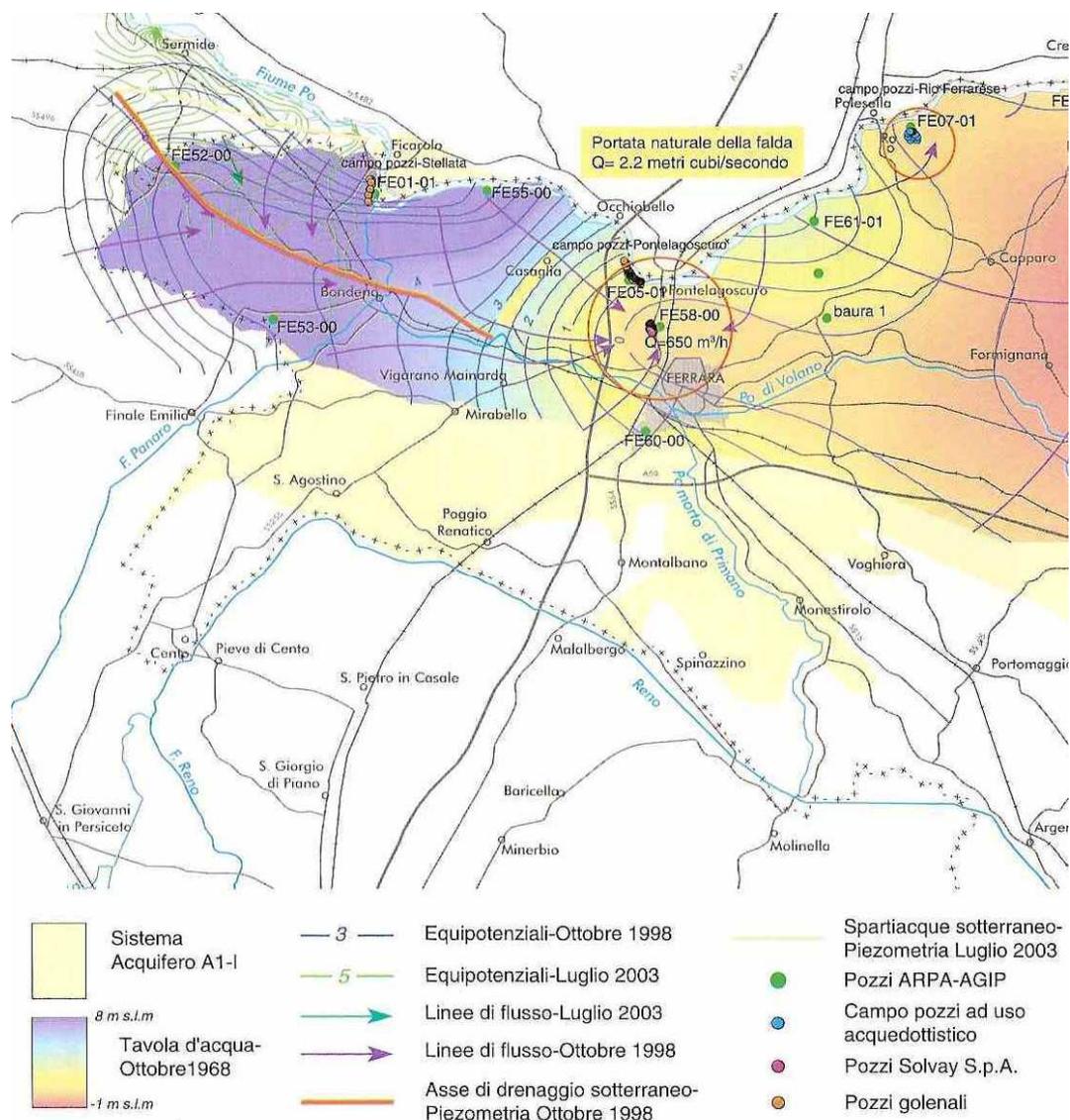


Fig. 21.1: Rete di flusso relativa al periodo Ottobre 1998 per il Sistema Acquifero A1-I

Nel settore occidentale della provincia si nota come le linee equipotenziali formino un asse di drenaggio disposto circa in direzione NO-SE. Questa convergenza delle linee di flusso è probabilmente dovuta al fatto che il sistema acquifero ha una piezometria che è influenzata sia da apporti di origine appenninica da S-SO che dalla ricarica del fiume Po da N-NO. In particolare la ricarica dal fiume Po è evidente nella zona di Stellata.

Gli assi di drenaggio e l'andamento della tavola d'acqua presenti più ad est, sono molto probabilmente dovuti alla geometria dei coni di depressione del campo pozzi presenti nel polo chimico ferrarese, e di quelli ad uso acquedottistico. In generale il settore occidentale della provincia di Ferrara ha gradienti idraulici maggiori rispetto al settore orientale, pari a circa 0.011° ; questo fatto può essere messo in relazione alla trasmissività dell'acquifero, che risulta essere minore nel settore occidentale. In generale, le velocità di flusso risultano molto basse dell'ordine di circa $7 \cdot 10^{-5}$ cm/giorno.

Infine, nell'estremo settore occidentale della provincia, sono riportate le isopieze rappresentative della magra storica del mese di Luglio 2003 da cui è chiaro che, in un periodo di forte deficit idrico, il fiume Po può arrivare a drenare il sistema acquifero A1-I formando uno spartiacque sotterraneo pochi chilometri a N dell'abitato di Pilastri.

L'analisi dei valori temporali della soggiacenza ha messo in evidenza: forti oscillazioni annuali dell'ordine di circa 2 m, nei pozzi che si trovano nelle immediate vicinanze al fiume Po. Tali oscillazioni sono l'effetto combinato di due fattori: modalità di sfruttamento delle risorse idriche sotterranee e variazioni del livello idrometrico del fiume Po.

Per quanto riguarda il sistema acquifero A2-I è stato possibile elaborare l'andamento piezometrico, sempre relativo al mese di ottobre 1998, solo nel settore meridionale della provincia (Fig.21.2).

Dall'andamento della tavola d'acqua si nota un asse di drenaggio molto ben sviluppato nel settore centrale dell'area esaminata che si estende all'incirca dall'abitato di Cento fino a Portomaggiore. Esso evidenzia due componenti di flusso principali, uno proveniente da SO ed uno proveniente da NO. Viste le zone di ricarica del sistema acquifero questi flussi sono collegati rispettivamente ad una alimentazione appenninica e ad una padano-alpina. Proprio nella zona di Cento si nota come l'asse di drenaggio venga probabilmente accentuato dal cono di depressione appartenente al polo estrattivo industriale che si stima prelevi circa 50 l/s dal sistema acquifero A2-I.

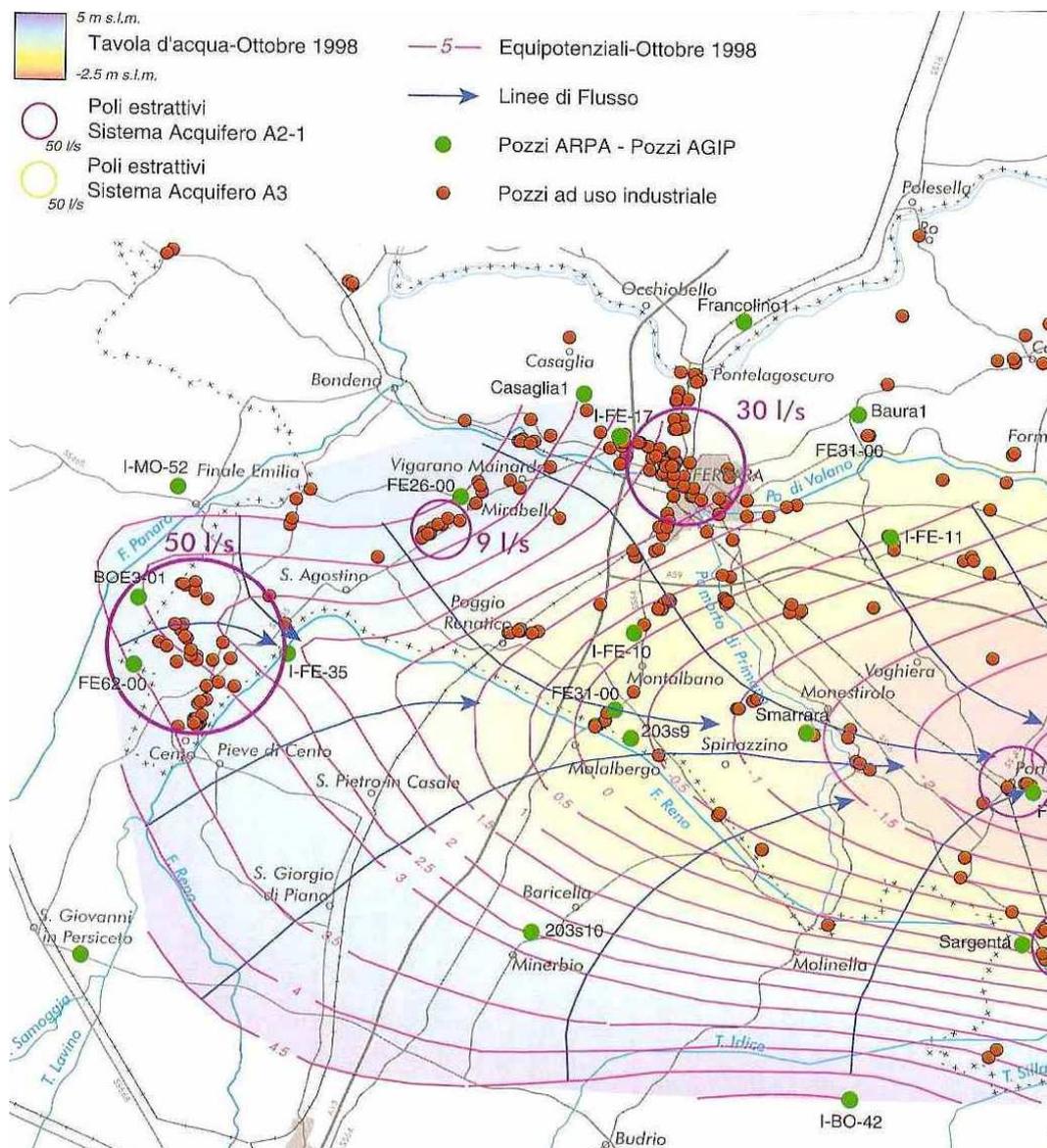


Fig. 21.2: Rete di flusso relativa al periodo Ottobre 1998 per il Sistema Acquifero A2-1

Infatti, l'andamento idrodinamico nei pozzi che appartengono a questo corpo acquifero presenta grande variabilità dovuta esclusivamente all'entità dei prelievi. In generale, però, nel periodo di misurazione si osservano fluttuazioni stagionali della soggiacenza di 1,5-2 m, in tutti i pozzi. Inoltre, nel periodo 1992-1998, si ha una continua e graduale diminuzione della soggiacenza. Tali diminuzioni locali sono probabilmente da attribuire al cambiamento delle attività e/o pratiche agricole, poiché i dati chimici non mostrano un evidente peggioramento delle caratteristiche qualitative delle acque, fattore che potrebbe giustificare l'abbandono dei pozzi.

Per quanto riguarda i sistemi acquiferi A3 ed A4, è stato rilevato un continuo aumento del livello piezometrico dal 1992 al 1996 dell'ordine di circa 2 m.

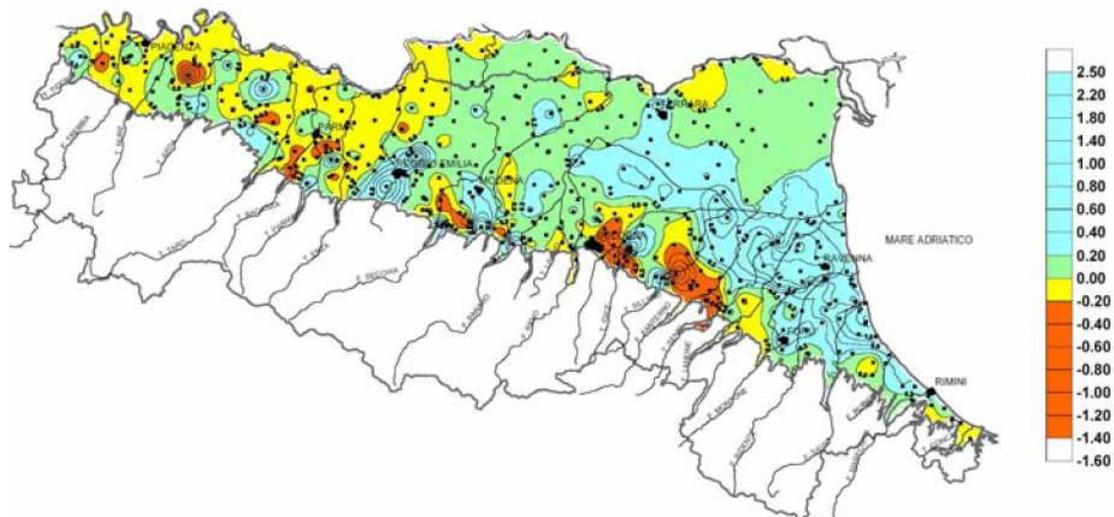


Fig.21.3: Punti di misurazione per l'anno 2003 e trend piezometrico rispetto agli ultimi 5 anni (in m)

Per concludere, sono inoltre disponibili elaborazioni più recenti (2003) che però essendo estese a tutto il territorio regionale presentano un minore dettaglio (Fig. 21.3). Il dato interessante di queste elaborazioni è comunque il confronto con gli ultimi 25 anni di misurazione da cui si evince una marcata prevalenza di risalita dei livelli di falda, per le aree prossime al Ravennate, un trend in diminuzione nelle porzioni settentrionali, in prossimità del Po, dovuta non solo alla crisi idrica del fiume ma anche all'utilizzo delle acque golenali per finalità acquedottistiche. Un abbassamento di circa 0.10-0.15 m/anno è evidente anche per alcune zone tra il territorio di Cento e di Bondeno (probabilmente imputabile ancora una volta al sovrasfruttamento).

21.2 L'acquifero libero

Nonostante la mancanza di una campagna di misurazioni appositamente programmata per la caratterizzazione dell'acquifero libero, si è comunque deciso di redigere le carte della superficie freatica (B2.13 a scala 1:40.000, B2.13N e B2.13S a scala 1:25.000) utilizzando rilevamenti effettuati nell'arco

dell'ultima decade (1998-2007), per un totale di 139 punti di misura non equamente distribuiti sul territorio dell'Alto Ferrarese ed interpolati tramite Kriging ordinario.

Dal punto di vista concettuale, questa operazione non è certamente corretta poiché comporta l'utilizzo congiunto di dati raccolti in periodi differenti (con condizioni al contorno non necessariamente comparabili), da diversi operatori e per diverse finalità (quindi con diverso grado di accuratezza). Tuttavia, vista l'importanza e la vulnerabilità di questo corpo d'acqua sotterraneo, piuttosto che non trattare affatto l'argomento si è ritenuto opportuno fornire un dato seppur incompleto ed imperfetto che fornisca un'analisi preliminare della situazione e permetta la pianificazione di future indagini di approfondimento laddove necessario.

Per quanto sin qui detto, si raccomanda di utilizzare le carte della superficie freatica (Fig. 21.4) ed i commenti che seguono, con il dovuto senso critico.

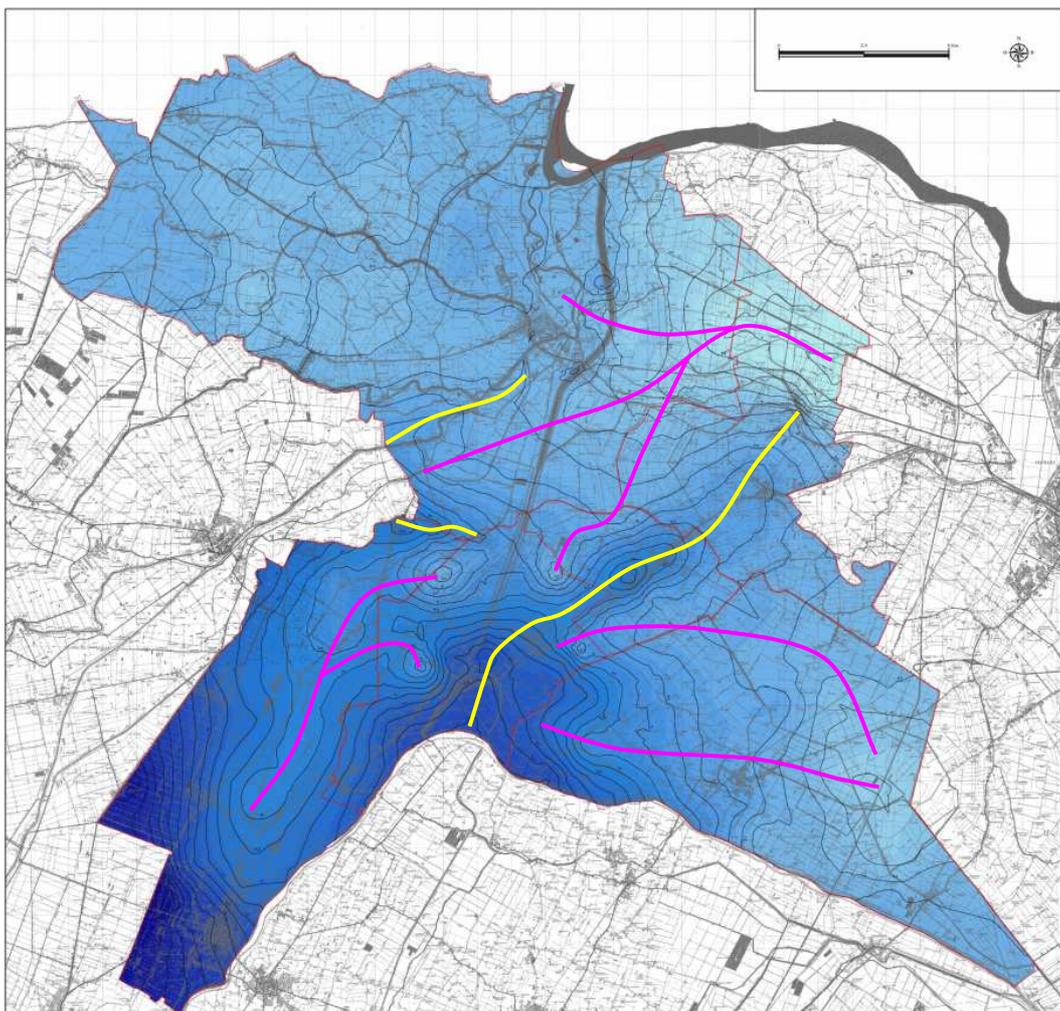


Fig. 21.4: Andamento della Superficie Freatica in m s.l.m. con equipotenziali ogni 0.5 m, spartiacque principali (linee gialle) corrispondenti ad importanti paleovalvi dossivi e principali assi di drenaggio (linee fucsia).

Nel territorio dell'Alto Ferrarese la superficie freatica è compresa tra un massimo di 16.6 m s.l.m. (nel comune di Cento) ed un minimo di 3.4 m s.l.m. (nel comune di Vigarano Mainarda). Il dislivello generale della tavola d'acqua è contenuto (circa 13 m) su tutto il territorio dell'Alto Ferrarese e, se si escludono i valori più elevati dell'area a Sud di Cento, scende addirittura a non più di 8 m, con estese zone praticamente piatte (es: porzione occidentale del territorio comunale di Bondeno, interamente compresa tra i 5.8 ed i 7.2 m s.l.m.).

A conferma di tale andamento si può notare come il gradiente piezometrico aumenti spostandosi da Nord a Sud, con valori inferiori a 0.5 ‰ nella porzione occidentale del comune di Bondeno per arrivare a valori di circa 1.5-2 ‰ nella porzione meridionale del comune di Cento.

La quota della superficie freatica può subire notevoli oscillazioni stagionali (fino a 1.5 m) ed essendo il dislivello generale della tavola d'acqua decisamente contenuto, ciò può portare ad una rilevante alterazione delle direzioni di flusso, specie in concomitanza con alcune situazioni particolari come ad esempio la vicinanza di paleoalvei, il passaggio tra corpi a diversa granulometria o la prossimità di area di ricarica o di drenaggio.

In generale si può comunque affermare che le direzioni di flusso sono:

- da SO verso NE nella porzione Sud Occidentale dell'Alto Ferrarese
- da Ovest verso Est nel territorio settentrionale dell'Alto Ferrarese con area di recapito nella zona della Diamantina
- da Ovest verso Est nella porzione Sud Orientale dell'Alto Ferrarese con area di recapito nella zona della Sammartina

Sono inoltre presenti aree di recapito minori nel territorio comunale di Sant'Agostino: in località Cà Nuova tra il Canale Angelino e la strada 34FE (verosimilmente dovuta ad una corrispondente depressione topografica), in località Santa Margherita in prossimità del Canale di Cento ed in località Colombara nei pressi dello Scolo Consorziale Savenuzza (probabilmente imputabili ad eccessivi prelievi).

Per concludere, oltre a ricordare il valore relativo dell'elaborazione in oggetto per i motivi soprariportati, si vuole sottolineare che la mancanza di una serie storica di misure cui far riferimento non ha permesso alcun confronto tra la situazione qui presentata e quelle pregresse ed è quindi impossibile derivare un trend sull'andamento della superficie freatica negli ultimi anni.

22 CARATTERISTICHE GEOCHIMICHE DELLE ACQUE SOTTERRANEE

In generale, il complesso idrogeologico della piana alluvionale padana si mostra come un contenitore idrico di acqua a qualità non idonea dal punto di vista qualitativo all'uso potabile, con progressivo peggioramento dalle parti occidentali verso le parti orientali della piana padana. Sono molti i parametri di origine naturale che si riscontrano in tale ambito: ferro, manganese, boro, fluoro e azoto ammoniacale presentano valori molto elevati; l'arsenico è presente in quantità non elevate, inferiori a 10 µg/l e spesso non è rilevabile; non sono invece assenti inquinanti di tipo antropico, con particolare riferimento a composti organici.

Le acque contenute sono quindi definibili come stato chimico particolare, anche se localmente può verificarsi una qualità scadente.

Nelle parti più prossime al Po, lo stretto rapporto di alimentazione da fiume a falda fornisce una consistente diluizione delle acque per alcuni parametri quali azoto ammoniacale, boro e fluoro. Ciò viene ulteriormente amplificato nel Ferrarese dove è cospicua l'attività di prelievo.

Un ulteriore elemento di scadimento della qualità degli acquiferi padani è legato ai flussi di acque salate o salmastre di origine naturale provenienti dal substrato dell'acquifero attraverso faglie e fratture. Ciò avviene nelle zone di culminazione degli alti strutturali interni al bacino padano, permettendo la risalita di acque ricche in cloruri e solfati sino a poche decine di metri dal piano campagna, fenomeno presente anche nell'Alto Ferrarese. In questo contesto la pressione antropica in termini di eccessivo prelievo può accentuare il normale processo di scadimento della qualità delle acque.

22.1 Geochimica del bacino idrogeologico della Pianura Emiliano-Romagnola

Per monitorare la qualità chimica delle acque sotterranee l'ARPA gestisce una rete di controllo costituita da circa 650 pozzi distribuiti nella zona di pianura. La profondità dei pozzi della rete varia da 50 a 500 metri, ma la grande maggioranza di essi ha profondità tra i 100 e i 200 metri e intercetta spesso più acquiferi. Per la mappatura delle principali famiglie geochimiche secondo la classificazione di Piper (1944) e ricavare informazioni circa le loro principali tendenze evolutive, sono stati utilizzati i dati chimici rilevati nell'annata 1995, ritenuta particolarmente rappresentativa per completezza della sequenza analitica (Fig. 22.1).

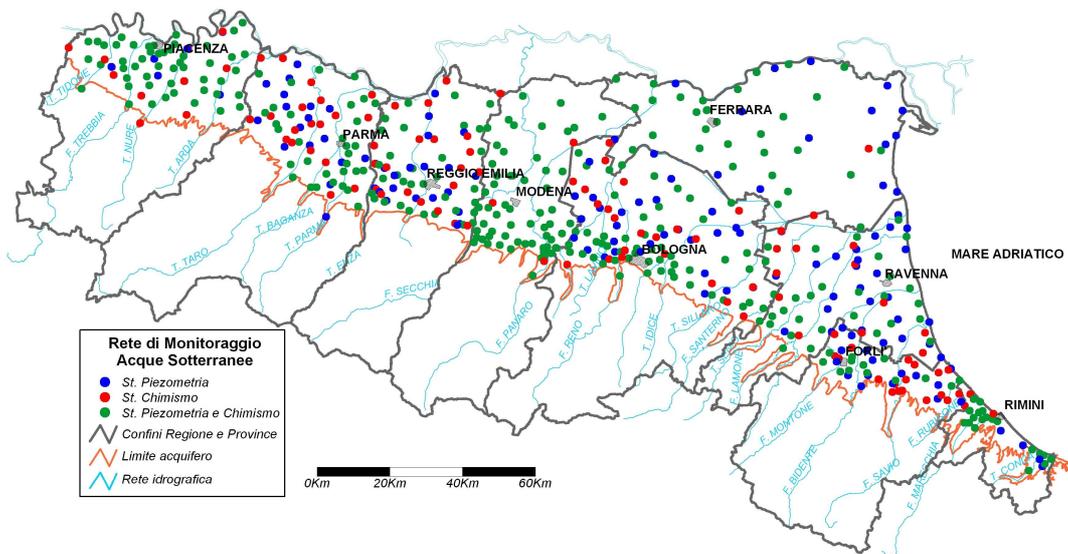


Fig. 22.1: Punti di controllo sulla qualità delle acque della rete ARPA Emilia Romagna

Nel Gruppo Acquifero A la maggior parte delle acque ricade nella zona dei tipo bicarbonato calcico, come prevedibile per acque delle latitudini temperate, ospitate in serbatoi a matrice silicatica. Due principali tendenze evolutive possono essere riconosciute a partire dall'acqua bicarbonato calcica, che può essere considerata come l'acqua di origine primaria da cui derivano le altre famiglie rappresentate. La prima tendenza evolutiva è riconoscibile verso le acque a cloruro di sodio, presenti nelle province di Reggio Emilia, Modena, Ferrara e Ravenna, per le quali viene qui individuata una triplice origine:

- possono essere acque di strato (connate), ospitate in serbatoi acquiferi depositatisi negli ultimi 130.000 anni in ambiente lagunare e deltizio; ciò appare particolarmente evidente in quelle parti dei Complessi Acquiferi A1 e A2 depositatesi durante le trasgressioni marine;
- possono derivare dallo spiazzamento parziale di acque salate che originariamente saturavano i lobi sabbiosi del fronte deltizio padano. Tale spiazzamento avviene anche attualmente, lungo la medesima direttrice (W-E), tramite acque di origine alpina.
- possono derivare dal mescolamento tra acque di origine alpina con acque salate fossili provenienti da formazioni mio-plioceniche in situazioni di alto strutturale (Dorsale Ferrarese).

La seconda tendenza è riconoscibile verso acque a bicarbonato di sodio che sono comunemente ritenute il risultato di processi di scambio ionico nei minerali argillosi e nei feldspati (di cui sono particolarmente ricche le sabbie del Fiume Po), ritenuti responsabili dell'incremento in sodio e della contemporanea diminuzione della concentrazione del calcio nelle acque. Tali processi sono causati dall'anidride carbonica che può avere più di una origine in ambiente padano:

- demolizione di sostanza organica ad opera di batteri anaerobici;
- fenomeni di trasporto con idrocarburi (metano);
- termodiagenesi e termometamorfismo di rocce carbonatiche (Panichi & Tongiorgi, 1976) che però appare plausibile soltanto nelle zone ad elevato flusso di calore e che ospitano fluidi caldi, come nel caso della Dorsale Ferrarese.

Grazie ad indagini isotopiche si è potuto stabilire che le acque delle conoidi del Gruppo Acquifero A sono caratterizzate da tempi di permanenza di alcuni decenni in quanto le zone di prelievo sono prossime alle zone di alimentazione. L'estrazione delle acque sotterranee genera elevati valori di gradiente idraulico indotto con conseguente elevato tasso di rinnovamento delle acque. Se tali acque non venissero estratte i valori di età ottenuti con tecniche isotopiche sarebbero sensibilmente maggiori.

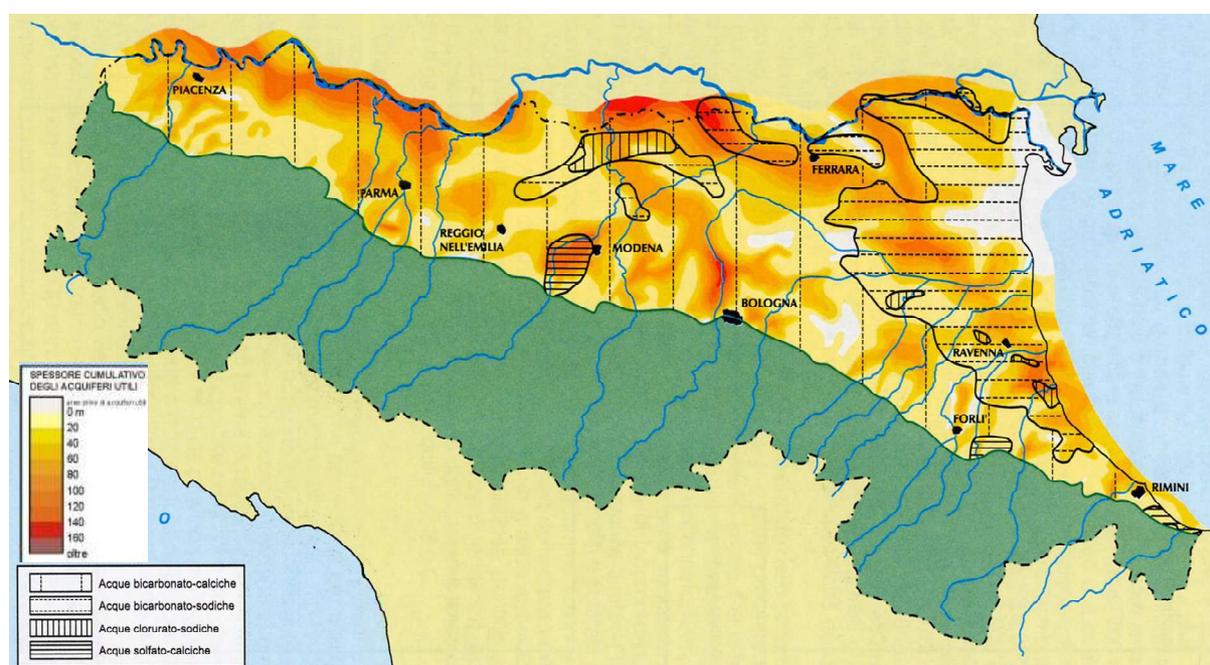


Fig. 22.2: Spessore cumulativo degli acquiferi del Gruppo A e loro classificazione geochimica

Nel Gruppo Acquifero B sono riconoscibili acque appartenenti a quattro facies geochimiche. La prima, Bicarbonato-Calcica, è mappabile con difficoltà nella parte occidentale della Regione Emilia-Romagna a causa della carenza di dati. La seconda, Solfato-Calcica, si manifesta nella zona della conoide del Fiume Secchia. La terza, Bicarbonato-Sodica, è caratteristica delle province di Ferrara, Ravenna e Forlì. In provincia di Ravenna sono presenti alcune testimonianze di acque della facies Clorurato-Sodica, interpretabili come relitti dell'avvenuto spiazzamento dovuto ad acque, in origine a facies Bicarbonato-Calcica, di provenienza alpina.

Le acque appartenenti al Gruppo Acquifero B sono caratterizzate da età molto antiche (20.000-30.000 anni) che fanno stimare tempi di permanenza dell'ordine di grandezza di alcune centinaia di migliaia di anni; valori analoghi possono essere riscontrati in acque Gruppo Acquifero A quando non soggette a emungimento forzato.

Nel Gruppo Acquifero C gli scarsi dati analitici non permettono di trarre conclusioni di tipo definitivo circa l'origine delle acque ivi ospitate e circa le dinamiche geochimiche in atto. Comunque, il Gruppo C anche se campionato nei pressi delle zone di ricarica mostra modalità di circolazione di tipo naturale ed età conseguentemente molto elevate. Tale livello quindi, ancora poco intaccato da perforazioni profonde, ospita acque di importanza strategica per i possibili impieghi futuri della risorsa acqua.

22.2 Geochimica dei serbatoi acquiferi della Provincia di Ferrara

Passiamo ora a descrivere con più dettaglio le caratteristiche degli acquiferi ferraresi, così come riportate nella pubblicazione "Risorse idriche sotterranee della Provincia di Ferrara". Come già detto in precedenza, l'acquifero di maggiore interesse nel territorio ferrarese è senza dubbio il Sistema acquifero A1-I poiché viene sfruttato per uso acquedottistico.

Da un punto di vista geochimico, le caratteristiche qualitative delle sue acque risultano *buone* (sensu D.Leg. 152/1999), con valori della conducibilità elettrica media di circa 400 $\mu\text{S}/\text{cm}$, praticamente invariabili nel tempo. I bassi valori della conducibilità elettrica sono associati ad un basso contenuto in cloruri, con valore medio pari a 46 mg/l, in sodio (25 mg/l) ed in solfati (42 mg/l).

L'unica eccezione è rappresentata dal settore più occidentale della provincia (nel comune di Bondeno), dove la conducibilità elettrica media è di circa 3500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ accompagnata da elevate concentrazioni in cloruri e sodio (Fig. 22.3). Tale elevata salinità è probabilmente da attribuire alla presenza di estesi fenomeni di mescolamento tra le acque dolci e quelle salse che si trovano nel territorio Mantovano ed è inoltre indicativa dell'assenza di una alimentazione locale dell'acquifero nella stessa zona. In questo caso l'intrusione salina non è imputabile esclusivamente al pompaggio ma anche alla presenza di fratture o faglie, all'interno degli alti strutturali della Dorsale Ferrarese, che veicolano fino in superficie o in prossimità di essa acqua connata salata, appartenente a formazioni geologiche profonde; ne sono un esempio le vicine salse di Mirandola. Si noti inoltre che le acque di questa unità idrogeologica presentano un contenuto generalmente elevato in ferro ed in manganese, entrambi di origine naturale e dovuti alle interazioni tra acque e sedimenti.

Infine, dalla distribuzione dei valori medi delle concentrazioni ioniche di ogni singolo pozzo,

relativamente al periodo di osservazione (1987-2001), è confermata la prevalenza della facies geochimica di tipo bicarbonato di calcio (Ca-HCO_3) mentre nell'alto ferrarese, in corrispondenza dell'area ad elevata salinità, le acque sono di tipo cloruro di sodio (Na-Cl).

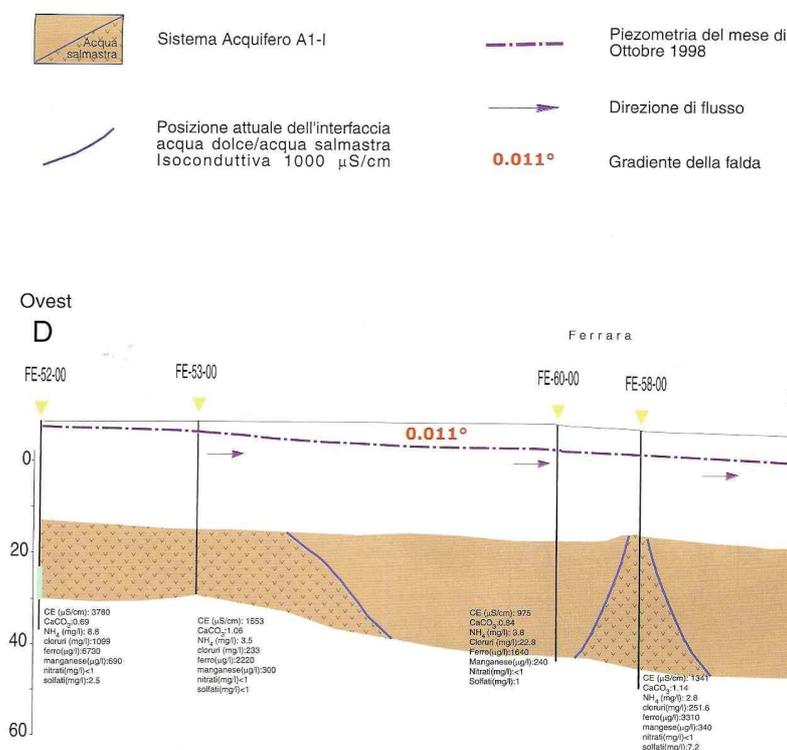


Fig. 22.3: Sezione Idrogeochimica relativa al Sistema Acquiferi A1-I

Per quanto riguarda il sistema acquifero A2-I, l'analisi di dati idrochimici ha messo in evidenza, nel settore occidentale della provincia, la presenza di acque con valori di conducibilità elettrica dell'ordine di 1000 $\mu\text{S/cm}$, accompagnati da basso contenuto in cloruri (<60 mg/l) e valori di sodio (<150 mg/l).

Da un punto di vista geochimico prevale la facies bicarbonato di calcio Ca-HCO_3 , trattandosi di acque dolci continentali con basso contenuto salino.

Le variazioni delle grandezze geochimiche principali hanno messo in evidenza (Fig. 22.4):

- elevate concentrazioni in manganese ed in ferro; con l'aumento della profondità, le concentrazioni medie in ferro presentano un aumento esponenziale passando dai 492 $\mu\text{g/l}$, in A1, ai 3690 $\mu\text{g/l}$, in A2 (si ricordi che il valore limite proposto da DM 471/99 è pari a 200 $\mu\text{g/l}$).
- una diminuzione delle concentrazioni ioniche medie in solfati e nitrati nell'acquifero A2, rispetto ai valori incontrati nell'acquifero A1, pur registrando bassi valori in entrambi i corpi idrici.

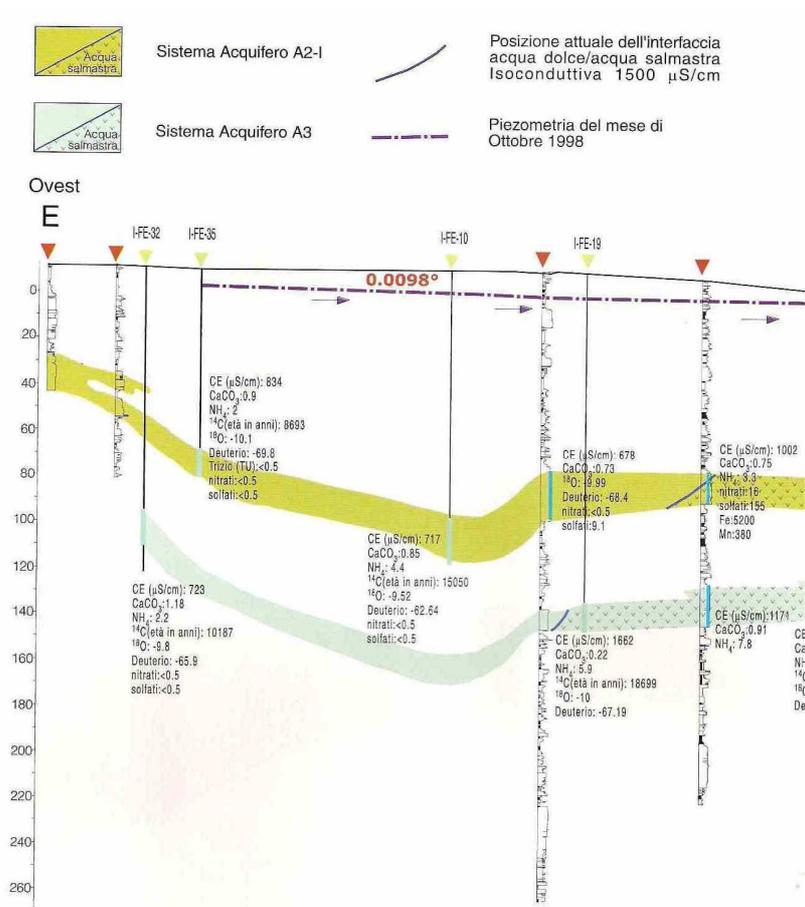


Fig. 22.4: Sezione Idrogeochimica relativa al Sistema Acquiferi A2-I

Per concludere, si può dire che le acque dell'acquifero A3 sono caratterizzate da valori di conducibilità elettrica media dell'ordine di 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e ricadono nella facies geochimica bicarbonato di calcio; mentre per quanto riguarda la caratterizzazione geochimica dell'acquifero A4, mancano completamente dati significativi.

23 LO STATO QUALITATIVO DELLA RISORSA IDRICA

Le aree critiche per la salvaguardia della qualità dell'acqua di sottosuolo sono le aree di ricarica degli acquiferi che, nella nostra regione, sono situate in zone molto antropizzate con importanti centri urbani ed una grande quantità di attività industriali, agricole e zootecniche.

In Emilia-Romagna, il principale problema è legato alla presenza nell'acqua di nitrati in quantità abbondanti (spesso superiore al valore limite di 50 mg/l, D.L.152/99). I nitrati derivano dai reflui delle attività zootecniche, dai concimi chimici usati in agricoltura e dalle perdite delle reti fognarie

Attualmente la distribuzione delle concentrazioni di nitrati nell'Alto Ferrarese, non evidenzia alcuna contaminazione, ma come si può vedere in Fig. 23.1 secondo il recente Piano di Tutela delle Acque della regione Emilia-Romagna, tutto il territorio della provincia di Ferrara è considerato vulnerabile, in riferimento alle acque superficiali, mentre la porzione dell'Alto Ferrarese prossima al corso del Po è considerata vulnerabile anche in riferimento alle risorse idriche sotterranee.

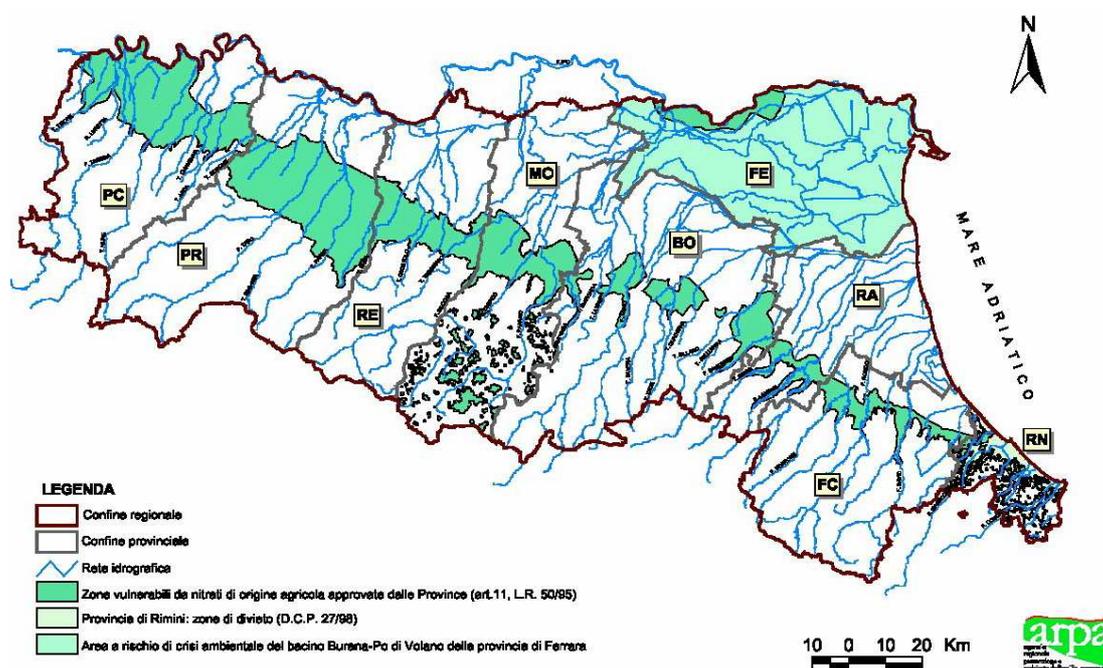
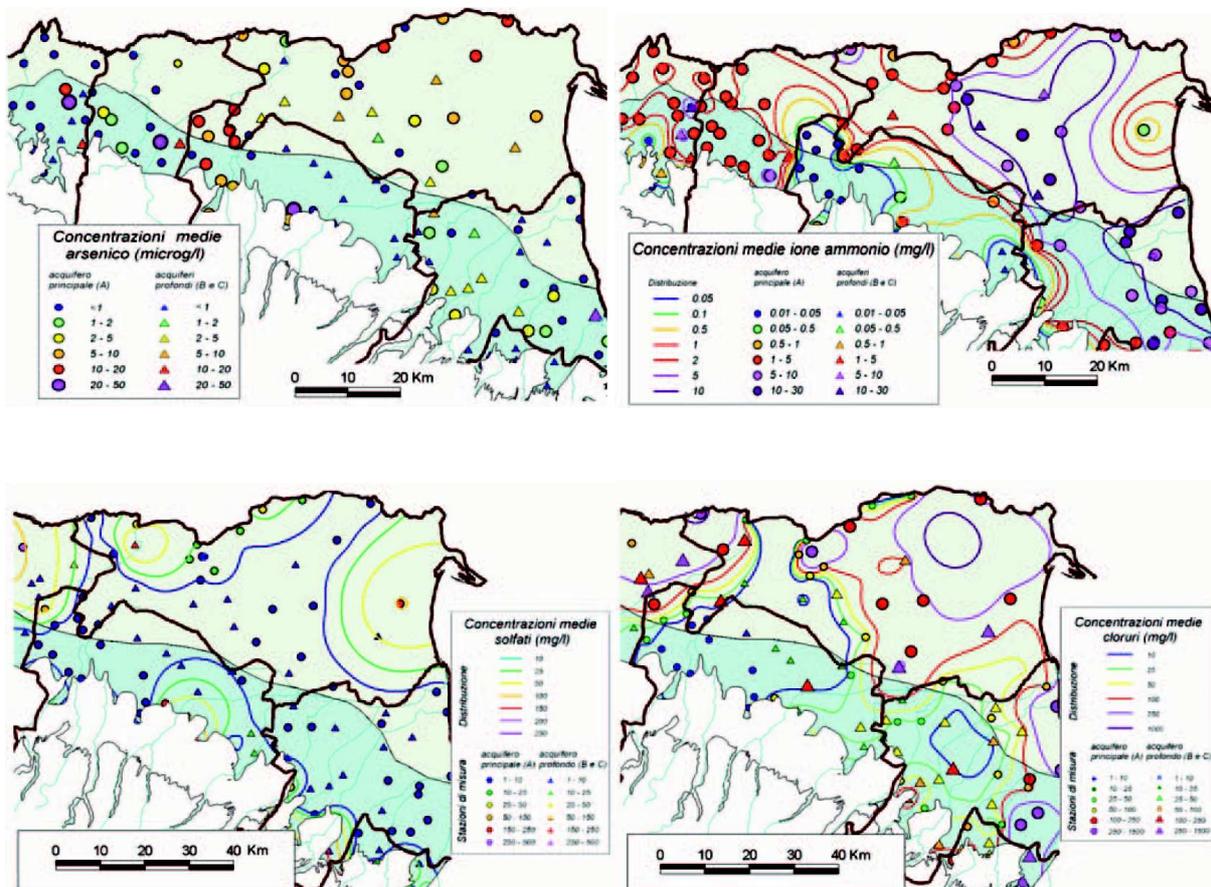


Fig. 23.1: zone vulnerabili da nitrati di origine agricola

Per quanto riguarda la distribuzione delle concentrazioni di altre principali specie chimiche nell'Alto Ferrarese, rilevate nel corso del 2003, si può dire che (Fig. 23.2):

- l'arsenico è diffuso in modo estensivo verso il modenese, con picchi di concentrazione nel comune di Cento di 10-20 µg/l per il gruppo acquifero A.
- lo ione ammonio, nell'Alto Ferrarese, si mantiene ovunque su valori superiori a 2 mg/l sia per il Gruppo acquifero A che per gli acquiferi profondi B e C; con un picco davvero elevato presso l'abitato di Pilastrì in cui, nel Gruppo acquifero A, si hanno valori prossimi ai 7 mg/l.
- i solfati sono presenti esclusivamente in punti occasionali, come ad esempio in prossimità di Bondeno negli acquiferi profondi dove vengono raggiunti valori compresi tra 200 e 250 mg/l.
- la presenza di cloruri è invece particolarmente diffusa con valori anche molto elevati nel gruppo acquifero A presso Pilastrì e valori comunque alti su tutto il resto dell'Alto Ferrarese per tutti i gruppi acquiferi considerati.
- ferro e manganese, risultano associati all'andamento dei cloruri; così, il ferro presenta valori sempre superiori a 1000 µg/l, senza distinzioni tra acquiferi captati ed il manganese supera i 500 µg/l nella parte settentrionale dell'Alto Ferrarese per poi decrescere verso valori prossimi ai 100 µg/l nella parte meridionale.



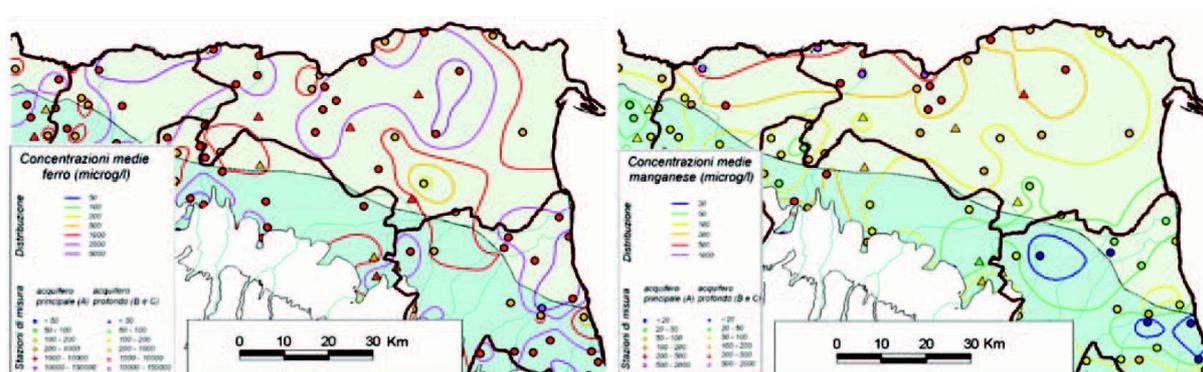


Fig. 23.2: Distribuzioni areali e puntuali delle concentrazioni medie nel 2003 di: arsenico, ammonio, cloruri, solfati, manganese e ferro.

In definitiva, lo stato ambientale dei corpi idrici dell'Alto Ferrarese al 2002 (Fig. 23.3), è prevalentemente condizionato dalla qualità intrinseca delle acque che vengono classificate in gran parte nello stato particolare per condizione naturale, analogamente alla restante parte di piana alluvionale.

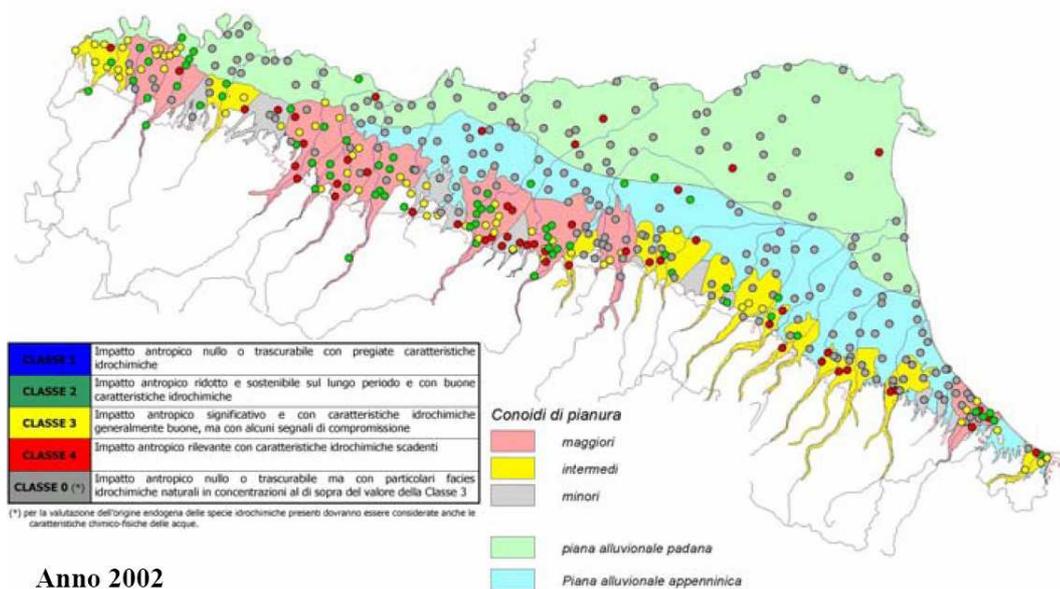


Fig. 23.3: Classificazione dei corpi idrici sotterranei in funzione del loro stato chimico

24 CRITICITÀ E POTENZIALITÀ DEI SERBATOI ACQUIFERI FERRARESI

La conoscenza di un quadro idrostratigrafico di dettaglio, e quindi il poter ricostruire in termini spazio-temporali il *record* quali-quantitativo di un determinato sistema acquifero ed il suo passato e attuale regime di emungimento, è di fondamentale importanza per individuare il rapporto di causa-effetto di fenomeni quali subsidenza, sovrasfruttamento e contaminazione e quindi per tutelare lo stato ambientale dei serbatoi acquiferi. Come detto sin qui i Sistemi Acquiferi di maggior interesse individuati nell'area, sia per potenzialità della risorsa idrica che per estensione, ricadono all'interno dei Complessi Acquiferi A1-I e A2-I. Di seguito verranno discusse le criticità e potenzialità di questi sistemi acquiferi.

Nel Sistema Acquifero A1-I nell'estremo settore occidentale del territorio ferrarese i pompaggi hanno amplificato i fenomeni di diffusione e di mescolamento tra le acque dolci e quelle salse che si trovano ad ovest della provincia di Ferrara. Questo nuovo equilibrio non ha portato ad un incidenza significativa sulla disponibilità della risorsa idrica in quella porzione dell'acquifero, della larghezza di circa 2-3 Km, prossima al fiume Po. Questo settore, infatti, nonostante abbia in alcune zone un significativo sfruttamento antropico, ha delle caratteristiche intrinseche, ad esempio la ricarica diretta dal Po, che gli consentono di mantenere una notevole potenzialità idrica e discrete caratteristiche idrogeochimiche.

Allo stesso modo nella porzione sud-occidentale di A1-I, sia la componente di ricarica appenninica, in quanto il serbatoio acquifero di origine padana si amalgama con le sabbie appenniniche, che il minore sfruttamento antropico, fanno fatto sì che il serbatoio acquifero mantenesse discrete condizioni quali-quantitative.

Anche il sistema acquifero A2-I risente, nell'estremo settore occidentale del territorio ferrarese, del mescolamento tra le acque dolci e quelle salse provenienti dal modenese. Come per A1-I il forte disequilibrio idrologico indotto nell'acquifero dagli eccessivi pompaggi ha fatto sì che lo stesso raggiungesse nell'arco di circa 30-40 anni un nuovo equilibrio dinamico con lo sviluppo di eccessivi tassi di subsidenza. Il settore di A2-I che si estende a sud di Ferrara fino agli abitati di Poggio Renatico, Malalbergo e S. Agostino non sembra aver risentito, probabilmente a causa dei minori prelievi, di questo nuovo equilibrio dinamico in quanto ha mantenuto discrete condizioni quali-quantitative.

Riguardo ai Sistemi Acquiferi A3 e A4, viste le loro forti condizioni di confinamento, le aree di ricarica molto distali e la parziale saturazione in acqua salmastra data dalla loro genesi sedimentaria è consigliabile uno sfruttamento molto limitato.

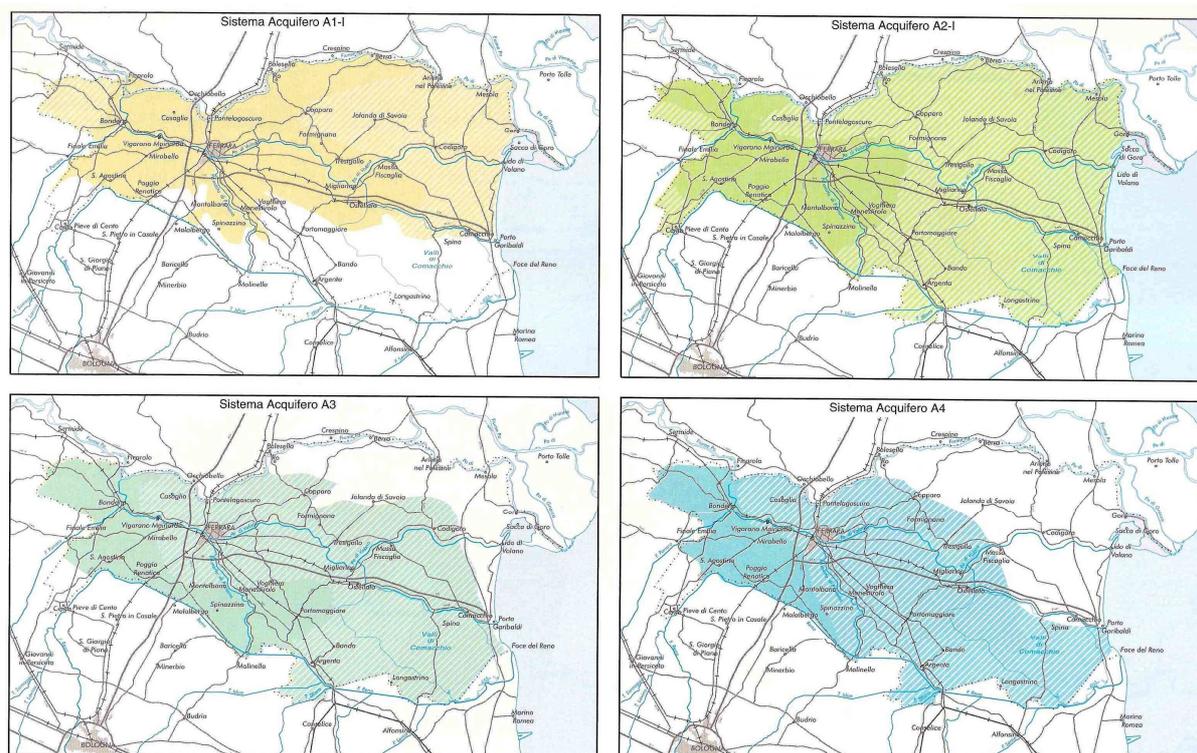


Fig. 24.1: Aree di criticità dei Sistemi Acquiferi. Le aree rigate in bianco indicano i settori a scarsa potenzialità idrica e/o con facies idrogeochimiche particolari.

In sintesi la presenza di aree di ricarica distali e l'alta trasmissività e diffusività di questi sistemi acquiferi hanno fatto sì che l'eccessivo e prolungato pompaggio alterasse il loro già delicato equilibrio idrologico e chimico su areali molto ampi.

Negli ultimi anni, nonostante la diminuzione dei prelievi e quindi il parziale aumento nei trend piezometrici degli ultimi anni, come evidenziato anche dal PTA (2004), e la forte dipendenza dal Fiume Po per la disponibilità di risorsa idrica, si evince come in ampi settori del territorio ferrarese lo stato quantitativo dei diversi serbatoi acquiferi sia critico. Questa criticità deriva sia dalle condizioni naturali "particolari" dei serbatoi acquiferi che dal forte sfruttamento a cui questi sono stati sottoposti, soprattutto negli anni 70' e 80' e di cui ancora risentono.

E' altresì vero che alcuni settori dei serbatoi acquiferi oggetto di studio, nonostante gli ingenti prelievi, hanno mantenuto delle caratteristiche di buona potenzialità idrica e discrete condizioni idrochimiche. In queste zone è opportuno quindi implementare la ricerca idrogeologica al fine di poterne sfruttare al meglio le potenzialità idriche senza alterare il loro equilibrio idrologico (Fig. 24.1).

Si tenga presente infatti, che in alcune aree della nostra regione i quantitativi di acqua prelevata dal sottosuolo si sono mostrati superiori rispetto alla capacità che ha la risorsa idrica di rigenerarsi.

Si ricordi che le velocità di subsidenza sono sempre molto elevate ove sussistano condizioni di forte sfruttamento dei Complessi Acquiferi maggiormente isolati dalla superficie e con aree di ricarica diretta remote o inesistenti. Anche nell'Alto Ferrarese, specie nel comune di Cento, le forti velocità di subsidenza registrate coincidono con l'intenso sfruttamento dei Gruppo Acquifero B e dei Complessi più profondi del Gruppo A. Lo squilibrio così generato ha causato in alcune zone della pianura degli abbassamenti, anche forti, della quota dell'acqua nel sottosuolo. Questo abbassamento induce un forte aumento dell'addensamento dei grani che costituiscono il sottosuolo, e determina una riduzione del volume del terreno. Come conseguenza finale si osservano degli abbassamenti del suolo (Cap. 3), anche significativi. Questi forti aumenti di subsidenza causano delle rimodellazioni della superficie topografica che danno luogo ad una serie di problemi ambientali. Ad esempio i canali ed i fiumi si trovano ad avere difficoltà di scorrimento, perché si è modificata la pendenza del loro percorso, ciò può anche indurre o favorire il succedere di allagamenti, durante le maggiori piene dei fiumi.

Va qui ricordato però che un'oculata gestione della risorsa idrica non significa necessariamente una limitata disponibilità d'acqua. Si tenga presente che nella pianura ferrarese si estraggono annualmente 51 Mm³ di acqua, suddivisi in 3 Mm³ per usi civili, 32.7 Mm³ per usi industriali, 13.9 Mm³ per usi irrigui e 1.4 Mm³ per usi zootecnici. Ma le stime danno l'utilizzo a scopo agricolo in forte aumento, l'uso a scopo idropotabile pressoché stabile e quello ad uso industriale in diminuzione; in sostanza l'utilizzo in Provincia di Ferrara sembra allinearsi in un prossimo futuro a quelli che sono gli utilizzi attualmente registrati a livello regionale (Fig. 24.2).

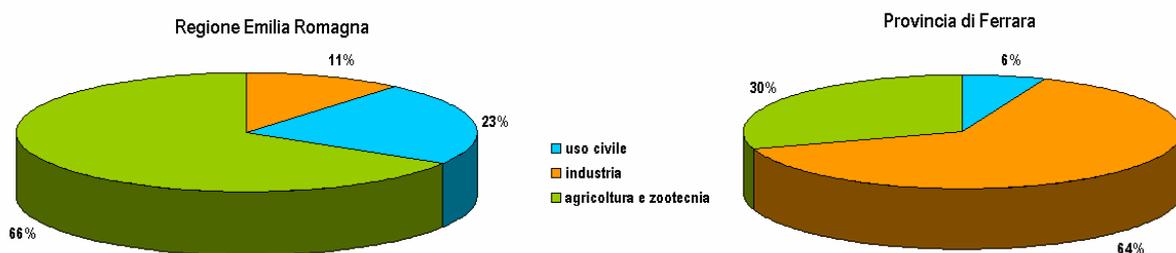


Fig. 24.2: Utilizzo della risorsa idrica in Emilia Romagna: agricoltura 1.425 Mm³/y in forte aumento, civile 487 Mm³/y stabile, industria 233 Mm³/y in leggera diminuzione; per un totale di 2.131 Mm³/y.

Ciò detto, è evidente che sembra non esserci alternativa ad un aumentato della domanda d'acqua sotterranea per un futuro sviluppo del territorio; tuttavia si dovrà accettare che, nell'ottica di uno sviluppo compatibile con le georisorse ambientali, alcune scelte di pianificazione territoriale potranno in futuro

essere condizionate dall'attuale stato di criticità di alcuni Sistemi Acquiferi presenti nel territorio in esame. Così, per evitare gli errori del passato è bene tener presente che la risorsa idrica sotterranea è un bene finito e quindi, laddove i corpi idrici non siano in grado di fornire la quantità d'acqua necessaria alle esigenze antropiche, prima di consentire un certo tipo di insediamento produttivo si dovranno prevedere soluzioni alternative come ad esempio acquedotti industriali, riutilizzo della risorsa o, se non ci sono neanche queste condizioni, non prevedere quel tipo di insediamento in quella zona.

25 BIBLIOGRAFIA PARTE QUINTA

AGIP S.p.A., 1972. Acque dolci sotterranee. Grafiche Palombi, Roma, 914 pp.

AGIP S.p.A., 1994. Acque dolci sotterranee. Graf 3 Roma, 515 pp.

APPELO C.A.J & POSTMA D. (2005) – Geochemistry, Groundwater and Pollution. A.A. Balkema Publishers.

ARPA (2002) - Rapporto ARPA sulla qualità dei corpi idrici superficiali.

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.

AVANZINI M., BERETTA G. P., 1993. Criteri e metodi idrogeologici per la tutela delle opere di captazione delle acque sotterranee. Indirizzi del C. N. R. -G. N. D. C. I. per il miglioramento delle normative esistenti, I.G.E.A., (2), 71-83.

BALLEAU W.P. (1988) - Water approximation and transfer in a general hydrogeologic system. Natural Resources Journal, 29, 2, 269-291.

BARALDI F., CAMPANA G., CASTALDINI D., PALTRINIERI N., SPALLACCI P., ZAVATTI A., 1995. La capacità di attenuazione del suolo tra i fattori di valutazione della vulnerabilità all'inquinamento degli acquiferi. Atti 2° Convegno Nazionale sulla Protezione e Gestione delle Acque Sotterranee: metodologie, tecnologie e obiettivi. Nonantola (MO), 17-19 Maggio. Pitagora Editrice, Bologna, 3, 123-140.

BEAR J., 1979. Hydraulics of Groundwater McGraw-Hill Series in water resources and environmental engineering. McGraw-Hill, 569 pp.

BERETTA G. P., 1992. Idrogeologia per il disinquinamento delle acque sotterranee. Pitagora Editrice, Bologna, 813 pp.

BERETTA G. P., FRANCANI V., PAGOTTO A., 1988. Esempificazione delle procedure per la delimitazione delle fasce di rispetto. In Proposta di normativa per l'istituzione delle fasce di rispetto delle opere di captazione di acque sotterranee. C.N.R. G.N.D.C.I. A cura di G. P. Beretta., M. Civita, V. Francani, A. Muratori, A. Pagotto, G. Verga, A. Zavatti, G. M. Zuppi. Editore V. Francani, coeditore M. Civita. Edizioni Geo-Graph, Segrate, 249-276.

BIANUCCI G., RIBALDONE BIANUCCI E., 1985. La chimica delle acque sotterranee. Origine Composizione Inquinamento. Hoepli, Torino, 267 pp.

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

BOTTINO G., CAVALLI C., VIGNA B., 1994. L'analisi di facies nella prospezione idrogeologica. Geologica Romana, 30, 515-524.

BRIGHENTI G., 1996. Estensione della definizione di porosità in uso nella geoidrologia. Acque Sotterranee, n°52, 21-25.

CAMPAGNOLI I.,- Studio idrogeologico del territorio del Comune di Bondeno ai fini della pianificazione territoriale, (tesi di laurea), Università di Ferrara, a. acc.1976-77, pp. 116

- CARLIN F., CERVELLATI A., GONFIANTINI R., MAGRI G., 1975. Use of environmental isotopes to investigate the interconnections between the Reno River and groundwater (Northern Italy). Isotope ratios as pollutant source and behaviour indicators. IAEA - SM - 191/6, 179-194.
- CASTANY G., 1985. Idrogeologia. Principi e Metodi. Dario Flaccovio Editore, 243 pp.
- CELICO P. (2000)- Prospezioni idrogeologiche, Liguori editore (Napoli). Vol I e II, pp.473-723
- CHAHOU A., FAVA A., MARTINELLI G. (2002) - Indagine di idrologia isotopica. Regione Emilia- Romagna, ARPA., Bologna.
- CHAHOU A., SPEZZANI P., VINCENZI D., ZAVATTI A. "Ipotesi di metodologie operative per la classificazione quantitativa delle acque sotterranee" Atti del 3° Convegno Nazionale sulla protezione e gestione delle acque sotterranee per il III millennio; Parma 13-14-15 ottobre 1999. Quaderni di Geologia Applicata, suppl. 2/1999. Pitagora Editrice Bologna (1999).
- CHAHOU A., VICARI L. "Le acque sotterranee dell'Emilia Romagna, in Verso il I Rapporto sui corpi idrici italiani" a cura di Bucci M., Mazzoni M., Melley A., Ed. Anpa - Arpat, (settembre 1999).
- CHAHOU A., ZAVATTI A. "Stato ambientale (quali quantitativo) delle acque sotterranee: l'acquifero emiliano romagnolo" Atti del 3° Convegno Nazionale sulla protezione e gestione delle acque sotterranee per il III millennio; Parma 13-14-15 ottobre 1999. Quaderni di Geologia Applicata, suppl. 2/1999. Pitagora Editrice Bologna (1999).
- CHIESA G., 1988. Inquinamento delle acque sotterranee. Metodi di indagine e di studio per la gestione delle acque inquinate. Hoepli, Torino, 375 pp.
- CHIESA G., 1993. Area di rispetto per pozzi in falde dotate di moto proprio. Acque Sotterranee, n°38, 40-47.
- CHIESA G., 1997. Aree di salvaguardia dei pozzi. Acque Sotterranee, n°55, 41-44.
- CIVITA M. (2005) – Idrogeologia Applicata ed Ambientale. Casa Editrice Ambrosiana.
- CIVITA M., FIORUCCI A., PIZZO S., VIGNA B. (1999)- Utilizzazione estensiva delle prove rapide d'acquifero per la valutazione della vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento in Quaderni di geologia applicata, Pitagora editrice, Bologna. Vol I, pp.1105-1113.
- 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. - G.N.D.C.I., 1988. Proposta di normativa per l'istituzione delle fasce di rispetto delle opere di captazione di acque sotterranee. A cura di G. P. Beretta., M. Civita, V. Francani, A. Muratori, A. Pagotto, G. Verga, A. Zavatti, G. M. Zuppi. Editore V. Francani, coeditore M. Civita. Edizioni Geo-Graph, Segrate, 277 pp.
- C.N.R. - I.R.S.A., 1980. Indagine sulle falde acquifere profonde della Pianura Padana. Quaderni dell'Istituto di Ricerca sulle Acque, 3, (51), parte prima.
- DADOMO A., MARTINELLI G. (2004) - Aspetti di idrologia isotopica in Emilia-Romagna. Atti dei Convegni Lincei, 216, 157-166.
- DECRETO LEGISLATIVO N° 152/99 "Disposizioni sulla tutela delle acque dall'inquinamento e recepimento della direttiva 91/271/CEE concernente il trattamento delle acque reflue urbane e della direttiva 91/676/CEE relativa alla protezione delle acque dall'inquinamento provocato dai nitrati provenienti da fonti agricole" Suppl. ord. G.U. n°124 del 29/5/1999.

- DE MARSILY G. (1984) – Spatial variability of properties in porous media : a stochastic approach. In Bear j., Carapigioglu M Y (eds) *Fundamental of transport in porous media*, vol. 82.
- DI DIO G. & MOLINARI F.C. (2000) - A study of the groundwater resources in the Ferrara Province (Po River Basin, Northern Italy). *Proceedings of III Congress on Regional Geological Cartography and Information Systems*, 24-27/10/2000. Bavaria, Munich, Germany: 84-86.
- DOMENICO P. A., SCHWARTZ F. W., 1990. *Physical and Chemical Hydrogeology*. John Wiley & Sons, New York, 824 pp.
- EPSTEIN R., MAYEDA T, 1953. Variation of O18 content of waters from natural sources. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 4, 313-224.
- FAGOTTO A., PANINI G., PELLEGRINI M., 1994. Esperienze di perimetrazione di aree si salvaguardia attorno alle captazioni idropotabili in provincia di Reggio Emilia. In *Studi sulla vulnerabilità degli acquiferi - Alta pianura e Appennino della provincia di Reggio Emilia*. A cura di M. Pellegrini. Pitagora Editrice, Bologna, 33, (4), 71-113.
- FETTER C.W. (1994) – *Applied Hydrogeology*. Prentice-Hall, New Jersey (USA).
- FILECCIA A., 1996. Studio idrogeologico e fasce di rispetto per un acquifero confinato. *Acque Sotterranee*, n°49, 65-72.
- GORGONI C., MARTINELLI G., SIGHINOLFI G. P., 1982. Isotopic evidence of Paleowaters in the Po sedimentare basin (Northern Italy). *Geochemical Journal*, 16, 51-61.
- HEALY R.W. & COOK P.G. (2002) - Using groundwater levels to estimate recharge. *Hydrogeology Journal*, 10, 1, 91-109.
- HILLEL D., 1980. *Soil and water: Physical principles and process*. Accademio Press, New York, 485 pp. J. Fillos (Ed.), *Groundwater hydrology, contamination and remediation*. Scientific Publications Co., Washington D.C.
- JAVANDEL I., TSANG C. F, 1986. Capture-zone type curves: A tool for aquifer clean up. *Groundwater*, 24, (5), 616-624.
- KEELY J. F., TSANG C. F, 1983. Velocity plots and capture zones of pumping centers for ground-water investigations. *Groundwater*, 21, (6), 701-714.
- IDROSER S.P.A, 1994. *Relazione sulla Vulnerabilità dell'Acquifero Regionale*. In *Delibera del Consiglio regionale della Regione Emilia – Romagna 8 marzo 1995 n. 2049*
- LERNER D.N. (1997) - Groundwater recharge. In: Saether O.M. and de Caritat P. (eds.), *Geochemical processes, weathering and groundwater recharge in catchments*. AA Balkema, Rotterdam, NED, 109-150.
- LONGINELLI A. & SELMO E. (2003) – Isotopic composition of precipitation in Italy: a first overall map. *Journal of Hydrology*, 270, 75-88.
- MARTINELLI G., MINISALE A., VERRUCCHI C., (in stampa). *Geochimica delle acque sotterranee della pianura emiliano-romagnola*. In *Atti dei Convegno: Geologia delle Grandi Aree Urbane*. C.N.R. – Regione Emilia-Romagna, Bologna, 4-5 Novembre 1997.
- MARTINELLI G., PATRIZI G., RAMBALDI A., 1996. Sintesi dei caratteri geochimici e strutturali delle acque sotterranee della pianura emiliano romagnola. Regione Emilia-Romagna, Servizio Cartografico e Geologico, *Rapporto Tecnico*, 64 pp.

MAXEY G. B., 1964. Hydrostratigraphic units. *Journal of Hydrology*, 2, 124-129

MAZZINI E., LUCIANI P., SIMONI G. (2006) – The “Cavo Napoleonico” channel: from the past to the present hydraulic risk reduction programs. *Proceedings IAEG 2006 Congress, Nottingham (UK)*, in stampa.

OLIVE P., 1977. Idrologia isotopica, In *Studi e ricerche metodologiche per il ravvenamento artificiale dei conoidi del fiume Marecchia a scopo idropotabile e irriguo*. Ministero Agricoltura e Foreste, Rimini, 50-73

PIPER A. M., 1944. A graphic procedure in the geochemical interpretation of water analyses. *Trans. Amer. Geophys. Union*, 25, 914-923.

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.

PROVINCIA DI FERRARA & REGIONE EMILIA-ROMAGNA (1990) – Studio Idrogeologico del sistema acquifero confinato della Provincia di Ferrara.

RAPTI CAPUTO D. (2000) - Risorse idriche sotterranee a est di Ferrara: indagini sul comportamento idrogeologico e idrochimico. *Proposte per una gestione ottimale*. Tesi di Dottorato, Università degli Studi di Ferrara, pp. 215.

REGIONE EMILIA-ROMAGNA (2004) – Piano di Tutela delle Acque/ Relazione Generale. Servizio Tutela e Risanamento della Risorsa Acqua.

REGIONE LOMBARDIA & ENI. (2002) – Geologia degli Acquiferi Padani della Regione Lombardia. S.EL.CA., Firenze.

REGIONE EMILIA-ROMAGNA / IDROSER, 1978. Progetto di piano per la salvaguardia e l'utilizzo ottimale delle risorse idriche in Emilia-Romagna - Volume VII, il quadro idrogeologico regionale. A cura di Idroser S.p.A. Cooptip, Modena.

REGIONE EMILIA-ROMAGNA / IDROSER, 1992. Completamento e aggiornamento del piano per la salvaguardia e l'utilizzo ottimale delle risorse idriche in Emilia-Romagna. *Relazione di sintesi*, 57 pp.

REGIONE EMILIA-ROMAGNA, ARPA EMILIA-ROMAGNA “Elaborazione delle serie storiche dei dati relativi alle caratteristiche quali-quantitative dell'acquifero sotterraneo” (1997).

REGIONE EMILIA-ROMAGNA, ENI-AGIP “Riserve idriche sotterranee della Regione Emilia-Romagna” A cura di G. Di Dio, Selca Firenze (1998).

REGIONE EMILIA-ROMAGNA, ARPA EMILIA-ROMAGNA “Analisi e progettazione delle reti di monitoraggio ambientale su base regionale e sub-regionale. Proposta di revisione della rete di monitoraggio delle acque interne” (2002).

REGIONE EMILIA-ROMAGNA, ARPA EMILIA-ROMAGNA “Le acque sotterranee della Regione Emilia Romagna: modello concettuale” In *Supporto tecnico alla Regione Emilia-Romagna, alle Province ed alle Autorità di Bacino per la elaborazione del Piano Regionale Di Tutela delle Acque e Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale (Art. 44 del D.Lgs. 152/99 e Art. 115 L.R. 3/99) - Quadro conoscitivo Attività B.* (2002).

ROVERSI R., 1998 - Il Consorzio di Bonifica Valli di Vecchio Reno. *Ingegneri Architetti Costruttori*, n. 593, Bologna, Ottobre 1998, pp. 571-578.

SCHMORAK S., MERCADO A., 1969. Upconing of fresh water-sea water interface below pumping wells, field study. *Wat. Resour. Res.*, 5, (6), 1290-1311.

SEABER P.R. (1988) - Hydrostratigraphic units. Hydrogeology. W. Back, J.S. Rosenshein & P. R. Seaber (eds.) - The Geology of North America. Geological Society of America, 0-1- 2: 9-14.

SQUARZANTI S. (1980) - Su un metodo analitico-grafico per la determinazione dell'interfaccia acqua dolce-acqua salmastra: un esempio di applicazione nella pianura ferrarese. Quaderni dell'Istituto di Ricerca sulle Acque, 51, I, Roma, 63-71.

STRACK O. D. L., 1976. A single-potential solution for regional interface problems in coastal aquifers. Wat. Resour. Res., 12, (6), 1165-1174.

STUDIO IDROGEOLOGICO DEL SISTEMA MULTIACQUIFERO CONFINATO DELLA PROVINCIA DI FERRARA (1990)- La rete di controllo dell'acquifero in pressione (Febbraio 1987-Ottobre 1990), a cura di: Provincia di Ferrara, Servizio difesa del suolo e Regione Emilia Romagna, Servizio prov. Difesa del suolo risorse idriche e forestali, pp20

UNGARO E, CALZOLARI C., 1997. Metodi indiretti per la stima delle proprietà idrologiche del suolo. Rapporto SINA/2. C.N.R.-IGES, Firenze, 18 pp.

VICARI L., ZAVATTI A., 1990. Inquadramento idrogeologico e idrochimico della Pianura Padana emiliano-romagnola. Carta preliminare della vulnerabilità del sistema acquifero. In Studi sulla vulnerabilità degli acquiferi. A cura di A. Zavatti. Pitagora Editrice, Bologna, 11, (1), 145-177.

VILLA F., CASTALDI G. & ROSSI C. (1976) - Le caratteristiche deposizionali dell'area ferrarese e le relative connessioni con l'idrogeologia superficiale e profonda. Quaderni dell'Istituto di Ricerca sulle Acque, 28, 11, Roma, 309-329.

VUILLERMIN F. (1993) – Valutazione Idrogeologica delle aree golenali di Stellata, Pontelagoscuro e Ro Ferrarese. Rel.1214

WILLIAMS D. E., 1997. Moderne tecniche per la progettazione di un pozzo (Modern Techniques in Well Desing). Acque Sotterranee, n°55, 9-19.

WOESSNER W.W. (2000) - Stream and fluvial plain groundwater interactions: rescaling hydrogeologic thought. Ground Water, 38, 3, 423-429.

ZAVATTI A., ATTRAMINI D., BONAZZI A., BORALDI V., MALAGO' R., MARTINELLI G., NALDI S., PATRIZI G., PEZZERA G., VANDINI W., VENTURINI L., ZUPPI G. M., 1995. La presenza di arsenico nelle acque sotterranee della pianura Padana: evidenze ambientali e ipotesi geochimiche. In Quaderni di Geologia applicata. Atti del 2° convegno nazionale sulla protezione e gestione acque sotterranee: metodologie, tecnologie e obiettivi. Nonantola (MO) 17-19 Maggio. Pitagora Editrice, Bologna, 2, 301-326.

PARTE SESTA

ASSETTO FISIOGRAFICO DELL'ALTO FERRARESE

26 TIPOLOGIE DI RISCHIO POTENZIALE **26.1 La carta del rischio potenziale**

27 BIBLIOGRAFIA PARTE SESTA

26 TIPOLOGIE DI RISCHIO POTENZIALE

Al fine di concretizzare il “Contributo sulla natura geologica, geomorfologica ed idrogeologica” per il Quadro Conoscitivo del PSC dell’Alto Ferrarese e di renderlo il più possibile utile ad una corretta pianificazione territoriale, si è deciso di confrontare le Carte Tematiche a scala 1:40.000 a corredo della presente relazione con le Carte di Sintesi dei Sistemi Residenziale e Produttivo. Dalla sovrapposizione sono state individuate “aree di attenzione” su cui gravano tre differenti tipologie di rischio potenziale:

- le aree soggette a rischio idrogeologico sono state per lo più individuate in corrispondenza di depositi poroso-permeabili e quindi in genere lungo i tracciati dei paleoalvei (che non sono stati distinti in paleoalvei di ubicazione certa ed incerta). In tali aree possono presentarsi problematiche connesse alla presenza della falda freatica, soprattutto riguardanti l’eventuale compromissione della qualità della falda stessa (Cfr. Cap. 21).

In questo caso il rischio è posto dall’attività umana (residenziale e/o produttiva) nei confronti del bene ambientale rappresentato dalla risorsa idrica sotterranea.

- le aree soggette a rischio idraulico sono state individuate grazie al modello altimetrico di superficie (DEM) e si riferiscono alle aree di catino ove è potenzialmente maggiore la probabilità di allagamento in seguito ad eventi di pioggia di forte intensità. E’ da rimarcare che non è stata presa in considerazione la posizione di eventuali canali e corsi d’acqua principali, né tantomeno delle aree storicamente allagate che non sempre sembrano corrispondere alle aree catino. Per questo motivo la stima del rischio idraulico, a nostro parere, necessita di un’integrazione interdisciplinare e di verifiche approfondite (Cfr. Cap. 2).
- le aree soggette a rischio geotecnico si riferiscono a depositi alluvionali con caratteristiche geotecniche scarse o molto scarse, per lo più corrispondenti a zone caratterizzate dalla presenza di terreni limosi e/o argillosi, individuate attraverso le prove penetrometriche statiche a 30 m di profondità condotte da Elletipi S.r.l. su commissione dell’Associazione dei Comuni dell’Alto Ferrarese (Cfr. Cap. 8).

Negli ultimi due casi il rischio è posto da una particolare configurazione ambientale (presenza di aree depresse o scarsa qualità geotecnica dei terreni) nei confronti dell’eventuale opera antropica in progetto.

26.1 La carta del rischio potenziale

Le “aree di attenzione” su cui gravano rischi potenziali di natura idrogeologica, idraulica e geotecnica, verranno di seguito elencate, per ciascun comune, così da permettere l'approfondimento delle indagini conoscitive laddove si volesse procedere ad una valutazione reale del rischio o all'individuazione di eventuali forme di mitigazione prima di procedere all'approvazione del piano di sviluppo territoriale previsto dal PSC.

Bondeno

a) Ambiti urbanizzabili a prevalente carattere residenziale:

- presso l'abitato di Burana è presente un'area soggetta a rischio idrogeologico determinata dalla presenza di depositi poroso-permeabili; lo stesso problema si riscontra in porzioni marginali degli ambiti urbanizzabili previsti presso Scortichino, Stellata ed in prossimità dello Zuccherificio e del Palazzo Rosso di Bondeno.

b) Ambiti urbanizzabili a prevalente carattere produttivo:

- presso Borgo Scala è presente un'area soggetta a rischio idrogeologico determinata dalla presenza di depositi poroso-permeabili; mentre l'area di Molino Pilastrini è toccata solo marginalmente da tale rischio.
- l'area prevista presso Casette Piretta essendo topograficamente depresso può risultare soggetta a rischio idraulico

Cento

a) Ambiti urbanizzabili a prevalente carattere residenziale:

- lungo il Canale di Cento presso Buca e nelle aree comprese tra C. Martelli e C. Rusconi e tra C. Martinelli e C. Munari sono state individuate aree soggette a rischio idrogeologico
- le aree di espansione previste presso Renazzo, C. San Benedetto, Reno Centese ed in corrispondenza del bivio tra la 6FE e la 13FE sono situate in aree potenzialmente soggette a rischio idraulico
- le aree nei pressi di Case Rusconi, C. Monari e tra Renazzo e Cascina Melloni si trovano in zone caratterizzate da depositi con scarse qualità geotecniche

b) Ambiti urbanizzabili a prevalente carattere produttivo:

- l'area di Tenuta Spada è parzialmente attraversata, nei pressi di Torre Spada, da un paleoalveo con conseguente potenziale rischio idrogeologico; tale area risulta inoltre interessata da rischio idraulico così come quella di Fondo Campanella.
- le aree di Renazzo e di Casa San Vito si trovano in zone caratterizzate da depositi con scarse qualità geotecniche

Mirabello

a) Ambiti urbanizzabili a prevalente carattere residenziale:

- presso l'abitato di la Barchessa è presente un'area soggetta a rischio idrogeologico determinata dalla presenza di depositi poroso-permeabili;
- l'area di espansione prevista nei pressi del Comune di Mirabello è caratterizzata da depositi con scarse qualità geotecniche

Poggio Renatico

a) Ambiti urbanizzabili a prevalente carattere residenziale:

- presso la località di Carbonaro Tottini è stata individuata un'area soggetta a rischio idrogeologico
- nell'area compresa tra Possessione S. Olao ed Alberelli si riscontra un potenziale rischio idraulico

b) Ambiti urbanizzabili a prevalente carattere produttivo:

- al confine con il territorio comunale di Sant'Agostino presso Riolo ed in località Malvasia è presente un area a potenziale rischio idrogeologico
- l'area prevista presso Possessione Uccellino essendo topograficamente depresso può risultare soggetta a rischio idraulico
- presso Gallo si ha un area caratterizzata da depositi con scarse qualità geotecniche

Sant'Agostino

a) Ambiti urbanizzabili a prevalente carattere residenziale:

- nelle zone di San Carlo e di Ghiada di Sant'Agostino sono presenti aree soggette a rischio idrogeologico dovute alla presenza di depositi poroso-permeabili

b) Ambiti urbanizzabili a prevalente carattere produttivo:

- in corrispondenza del Km 53 e del Km 54 della SP255 si ha un area a potenziale rischio idrogeologico
- presso Case Nuove di Sant'Antonio è stata individuata un area a potenziale rischio idraulico

Vigarano Mainarda

a) Ambiti urbanizzabili a prevalente carattere residenziale:

- tra il Km 58 ed il Km 60 della SP255 e presso Vigarano Pieve sono presenti depositi poroso-permeabili; presso Vigarano Pieve è inoltre presente un'area a potenziale rischio idraulico

b) Ambiti urbanizzabili a prevalente carattere produttivo:

- al Km 59 della SP496 e presso Cà Mangrona è presente un area a potenziale rischio idrogeologico

Come è evidente, le aree individuate come potenzialmente soggette a criticità di natura idrogeologica, idraulica e geotecnica sono riferite esclusivamente alle zone identificate come possibili ambiti urbanizzabili sia a carattere residenziale che produttivo. L'individuazione delle criticità del territorio non tiene conto della tipologia di sviluppo dello stesso e quindi le problematiche individuate sono da intendersi puramente potenziali.

Per una valutazione reale del rischio e per la stesura delle relative Carte del Rischio (sia a scala 1:40.000 che alla scala di dettaglio) è consigliabile uno studio specifico con indagini di campo riferite ad ogni singola area sopraelencata.

27 BIBLIOGRAFIA PARTE SESTA

BARAZZUOLI P., FILPA A., MOCENNI B., RIGATI R. & SALLEOLINI M. (2002) - La tutela delle acque sotterranee nella pianificazione territoriale: un esempio dal PTCP di Siena. *Geologia Tecnica & Ambientale*, 4/2002, 13-26. Beretta P. (1992) - Idrogeologia per il disinquinamento delle acque sotterranee: tecniche per lo studio e la progettazione degli interventi di prevenzione, controllo, bonifica e recupero. Quaderni di Tecniche di Protezione Ambientale, Sezione "Protezione delle Acque Sotterranee", 18, Pitagora Editrice, Bologna.

BONOMI T., CAVALLIN A., VERRO R. (1999). Utilizzo integrato di banche dati e SIT per la valutazione della vulnerabilità degli acquiferi a scala provinciali 1.45 3° Convegno Nazionale sulla protezione e gestione delle acque sotterranee per il III Millennio (Parma 13 - 14 - 15 Ottobre 1999) Pitagora Editrice, Bologna.

CIVITA M., FIORUCCI A., PIZZO S., VIGNA B. (1999). Utilizzazione estensiva delle prove rapide d'acquifero per la valutazione della vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento 1.105 scala regionale 1.75 3° Convegno Nazionale sulla protezione e gestione delle acque sotterranee per il III Millennio (Parma 13 - 14 - 15 Ottobre 1999) Pitagora Editrice, Bologna.

CIVITA M., GARGINI A., PRANZINI G. (1999). Metodologia di redazione della carta di vulnerabilità intrinseca e del rischio di inquinamento degli acquiferi del Valdarno Medio 1.59 3° Convegno Nazionale sulla protezione e gestione delle acque sotterranee per il III Millennio (Parma 13 - 14 - 15 Ottobre 1999) Pitagora Editrice, Bologna.

CIVITA M. (1994) - Le carte della vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento: teoria e pratica. Quaderni di Tecniche di Protezione Ambientale, Sezione "Protezione delle Acque Sotterranee", 31, Pitagora Editrice, Bologna.

CIVITA M. (1990) - Legenda unificata per le carte della vulnerabilità all'inquinamento dei corpi idrici sotterranee/Unified legend for the aquifer pollution vulnerability maps. Quaderni di Tecniche di Protezione Ambientale, Sezione "Protezione delle Acque Sotterranee", Studi sulla vulnerabilità degli acquiferi, 1 (Appendice), Pitagora Editrice, Bologna.

CIVITA M. (1987) - La previsione e la prevenzione del rischio di inquinamento delle acque sotterranee a livello regionale mediante le carte di vulnerabilità. Atti del Convegno "Inquinamento delle Acque Sotterranee: Previsione e Prevenzione", Mantova, Prov. MN, Ass. Amb. e Ecol., 9-17.

GIULIANO G., MARI G. M., DE AMICIS M., CAVALLIN A. (1999). Acque sotterranee e vulnerabilità nella pianura padana, veneta e friulana. Cartografie tematiche sperimentali 3° Convegno Nazionale sulla protezione e gestione delle acque sotterranee per il III Millennio (Parma 13 - 14 - 15 Ottobre 1999) Pitagora Editrice, Bologna.

CONCLUSIONI E SVILUPPI

La relazione e le tavole tecniche (a scala 1:40.000 e 1:25.000) a corredo delle attività svolte dal gruppo di lavoro coordinato dal Prof. Torquato Nanni, intendono fornire un contributo specialistico in materia geologica, geomorfologica ed idrogeologica al Quadro Conoscitivo del Piano Strutturale Comunale dell'Alto Ferrarese. Tale contributo, grazie alla notevole quantità di dati a disposizione per l'area di studio e considerata anche la loro buona qualità, ha potuto proporre analisi approfondite su alcune tematiche specifiche di particolare interesse, elaborazioni appositamente dedicate alla pianificazione territoriale e infine spunti di discussione sulle maggiori criticità del sistema indagato, costituendo quindi un valido aiuto nella programmazione delle azioni future per la definitiva stesura del PSC.

Ciononostante, si ritiene che al fine di fornire strumenti più efficaci e specifici (alla scala di dettaglio) per la risoluzione di dubbi e problematiche evidenziate nel corso della relazione, sia opportuno prendere in considerazione alcune proposte di lavoro che, sottoposte a discussione e valutazione da parte dei soggetti coinvolti nel PSC dell'Alto Ferrarese, dovranno sfociare nell'individuazione di attività specifiche da svolgersi nell'immediato futuro per l'approfondimento di tematiche di interesse prioritario.

Assetto Fisiografico

Gli scriventi ritengono particolarmente utile la redazione di un elaborato che permetta di stimare la propensione all'abbassamento del territorio dell'Alto Ferrarese ed in particolare di quelle aree che hanno manifestato i maggiori problemi negli ultimi anni (es: Comune di Cento), incrociando i dati di subsidenza effettiva (Cap. 3), di assetto geo-litologico (Cap. 5 e 7) e di potenzialità idrogeologica (Cap. 24). Tale elaborato potrebbe essere efficace ai fini della previsione e gestione degli allagamenti indotti dall'effetto che la subsidenza ha sulla rete idrografica e sulle opere di bonifica.

Assetto Geolitologico

Dallo studio delle risorse di cui il territorio dell'Alto Ferrarese dispone, è emerso che la prospettiva di trovare qui campi geotermici sfruttabili (sia di bassa che di media entalpia) è reale dal momento che le condizioni geologiche (Cap. 6) che caratterizzano il sottosuolo (specie nel territorio comunale di Bondeno e di Cento)

sono in tutto simili a quelle presenti nell'area di Casaglia dove la geotermia è da tempo sfruttata con successo per riscaldamento urbano ed in agricoltura.

Si propone quindi di prendere in considerazione un futuro approfondimento sull'argomento, in collaborazione non solo con il Gruppo di Idrogeologia dell'Università di Ferrara ma anche con il Servizio Geologico Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna che da tempo si occupa di queste tematiche.

Assetto Idrogeologico

Tenendo a mente che certe scelte di pianificazione territoriale potranno in futuro essere fortemente condizionate dall'attuale stato di criticità di alcuni Sistemi Acquiferi (Cap. 25), si ritiene indispensabile ed urgente procedere ad una mappatura delle zone a maggior potenzialità idrica presenti nel territorio in esame e quindi da considerarsi più indicate come future aree di espansione.

Inoltre, laddove le future zone di espansione dovessero ricadere su aree sensibili dal punto di vista idrogeologico (Cap. 26), si suggerisce di prevedere la realizzazione di simulazioni previsionali di sfruttamento e di tutela delle risorse per la definizione degli impatti che eventuali stress o fenomeni di inquinamento avranno sugli acquiferi interessati.

Per concludere, ci sembra doveroso sottolineare che il gruppo di lavoro coordinato dal Prof. Torquato Nanni manifesta la propria disponibilità non solo a discutere le proposte sopraelencate ma anche a prendere in considerazione eventuali ulteriori sviluppi suggeriti dai soggetti coinvolti nella definizione del Piano Strutturale Comunale dell'Alto Ferrarese.