

85

QUADERNI DI TECNICHE
DI PROTEZIONE AMBIENTALE
A cura di Adriano Zavatti



PROTEZIONE
DELLE ACQUE SOTTERRANEE

Esperienze e prospettive nel monitoraggio delle acque sotterranee

Il contributo dell'Emilia-Romagna



a cura di

Marco Farina, Marco Marcaccio, Adriano Zavatti



Pitagora Editrice Bologna

Indice

Indice per autori	XIX
Introduzione	XXIII
Sigle e acronimi utilizzati nel testo	XXVII

Capitolo 1 • LA CONOSCENZA DELLE ACQUE SOTTERRANEE PER LA TUTELA DEL TERRITORIO

1.1. Lo sviluppo degli approfondimenti idrogeologici nel territorio dell'Emilia-Romagna	1
1.1.1. L'approfondimento dei problemi idrogeologici in Emilia-Romagna	2
1.1.2. Il monitoraggio chimico e la vulnerabilità degli acquiferi	3
1.1.3. Il contributo delle conoscenze geologiche	4
1.1.4. Il Piano di Tutela delle Acque. Quadro conoscitivo e rete di monitoraggio	5
1.1.5. Il Piano di Gestione. Comunicazione ambientale e partecipazione pubblica	6
1.2. L'esigenza di una rete di monitoraggio come fase di acquisizione dati	7
1.2.1. La rete di monitoraggio dell'Emilia-Romagna: finalità	8
1.2.2. Sintesi delle caratteristiche generali	10
1.3. Altre reti di monitoraggio delle acque sotterranee	13
1.3.1. Rete di secondo grado a scala provinciale	15
1.3.2. Rete di controllo di punti di prelievo idrico (protezione dinamica delle opere di captazione)	15
1.3.3. Rete di controllo di centri di pericolo (siti contaminati, attività di potenziale impatto)	15
1.3.4. Reti di indagine ambientale	16
1.4. Considerazioni conclusive	16

Capitolo 2 • GLI ACQUIFERI DELL'EMILIA-ROMAGNA

2.1 Cenni sulla geologia dell'acquifero della pianura emiliano-romagnola	19
2.1.1. La pianura emiliano-romagnola	19
2.1.2. I depositi alluvionali e marino marginali nella pianura emiliano-romagnola	20
2.1.3. La struttura del margine appenninico	28
2.1.4. La falda freatica di pianura	33
2.2. La formazione di una conoscenza geologica degli acquiferi nell'Appennino emiliano-romagnolo	34
2.2.1. Un inquadramento geologico di prima approssimazione	37
2.2.2. L'approfondimento in ambito provinciale	43

Indice per autori

Per singolo paragrafo e/o capitolo

- Capitolo 1** V. BELLADONNA, M. FARINA, M. MARCACCIO, L. VICARI, A. ZAVATTI
- Capitolo 2** paragrafo 2.1 · P. SEVERI, L. BONZI
paragrafo 2.2 · M.T. DE NARDO, S. SEGADELLI, D. BONAPOSTA, A. PARISI
- Capitolo 3** paragrafi 3.1 · A. CHAHOUD, M. FARINA, M. MARCACCIO
paragrafi 3.2-3.3 · M. FARINA, M. MARCACCIO
appendice A3.1 · M. MARCACCIO, A. MOLINARI, L. GUADAGNINI, A. GUADAGNINI
appendice A3.2 · M.T. DE NARDO, S. SEGADELLI, D. BONAPOSTA e A. PARISI
- Capitolo 4** paragrafo 4.1 · A. CHAHOUD, D. CRISTOFORI
paragrafo 4.2 · G. BARDASI, E. DAL BIANCO, M. FARINA, G. FERRONI,
M. MARCACCIO, P. SPEZZANI
paragrafo 4.3 · F. BONSIGNORE, D. CRISTOFORI
- Capitolo 5** paragrafo 5.1 · M. FARINA, A. ZAVATTI
paragrafo 5.2 · M. FARINA, G. FERRONI, P. SEVERI
appendice A5.1 · A. MANZIERI, V. FRANCHI
appendice A5.2 · F. CERVI, A. CORSINI, M. MARCACCIO
- Capitolo 6** paragrafi 6.1-6.2 · A. CHAHOUD, M. FARINA, P. SEVERI
paragrafo 6.3.1 · M. MARCACCIO, P. SEVERI
paragrafo 6.3.2 · M.T. DE NARDO, S. SEGADELLI, D. BONAPOSTA, A. PARISI
paragrafi 6.4-6.5 · M. MARCACCIO
paragrafo 6.6 · A. CHAHOUD, G. PATRIZI
paragrafi 6.7-6.8 · A. CHAHOUD, G. PATRIZI, G. ZACCANTI, L. GELATI
appendici A6.1 e A.6.2 · A. CHAHOUD, G. PATRIZI
- Capitolo 7** paragrafo 7.1 · M. FARINA
paragrafi 7.2-7.3 · M. MARCACCIO, A. PALUMBO
paragrafo 7.4 · M. MARCACCIO, M. FARINA
paragrafo 7.5 · R. MALLEGNI, C. NUCCIOTTI, M. FARINA
appendice A7 · M. MARCACCIO
- Capitolo 8** paragrafi 8.1-8.2 · A. ZAVATTI, F. ZINONI, M. FARINA, M. MARCACCIO
paragrafo 8.3 · M. MARCACCIO
paragrafo 8.4 · F. ZINONI, M. FARINA, M. MARCACCIO
paragrafo 8.5 · M. FARINA, M. MARCACCIO
paragrafo 8.6 · M. FARINA, F. FILIPPINI, M. MARCACCIO, F. ZINONI
paragrafo 8.7 · M. MARCACCIO, F. FILIPPINI, F. ZINONI
paragrafo 8.8 · F. ZINONI

Gli acquiferi dell'Emilia-Romagna

2.1. CENNISULLA GEOLOGIA DELL'ACQUIFERO DELLA PIANURA EMILIANO-ROMAGNOLA

In questo paragrafo vengono illustrate le caratteristiche geologiche, stratigrafiche e deposizionali dei sedimenti in cui hanno sede gli acquiferi della pianura emiliano-romagnola. Questi sedimenti sono principalmente depositi alluvionali e, in subordine depositi marino marginali, che costituiscono le prime centinaia di metri del sottosuolo della pianura emiliano-romagnola.

La trattazione che segue non ha la pretesa di esaurire questo vasto argomento, ben noto nella letteratura specifica alla quale si farà di volta in volta riferimento nel testo.

2.1.1. La pianura emiliano-romagnola

La pianura emiliano-romagnola costituisce la porzione meridionale della pianura padano-veneta, la più grande pianura alluvionale italiana ed una delle più grandi pianure alluvionali europee.

Essa è stata oggetto di un recente ed accurato approfondimento, che tiene conto della vasta bibliografia pregressa, in cui vengono trattati svariati aspetti di carattere geologico ed ambientale (AMOROSI e PIGNONE, 2009).

La pianura padana è una delle aree più densamente abitate ed una delle principali zone produttive del nostro paese, in essa trovano sede

il 37% delle attività industriali italiane, il 55% delle attività zootecniche ed il 35% di quelle agricole. L'acqua, sia quella di superficie, sia quella estratta dal sottosuolo, è una risorsa fondamentale per lo svolgimento di tutte queste attività.

Dal punto di vista geologico la pianura padana costituisce un'estesa area subsidente compresa tra le Alpi e gli Appennini, formatasi a causa delle spinte tettoniche tra le due catene, il cui avvicinamento reciproco induce un abbassamento nella parte centrale. La figura 2.1 illustra schematicamente questo processo, in atto da alcuni milioni di anni e tutt'ora in corso.

L'area subsidente in cui si colloca la pianura padana costituisce un bacino sedimentario riempito nella sua parte più profonda da sedimenti marini e più in superficie da sedimenti fluviali prodotti dalle esondazioni dei fiumi che solcano la pianura padana, ovvero il Po ed i suoi affluenti alpini ed appenninici.

Con riferimento alla pianura emiliano-romagnola lo spessore dei sedimenti di origine fluviale è di diverse centinaia di metri; al di sotto di questi depositi si trovano sedimenti costieri a cui fanno seguito, verso il basso, depositi marini via via antichi e più profondi.

La porzione più profonda della pianura emiliano-romagnola è interessata da un sistema di strutture tettoniche formate dalla compressione tra le Alpi e gli Appennini e visibili nella figura 2.2 (Carta sismotettonica della Regione

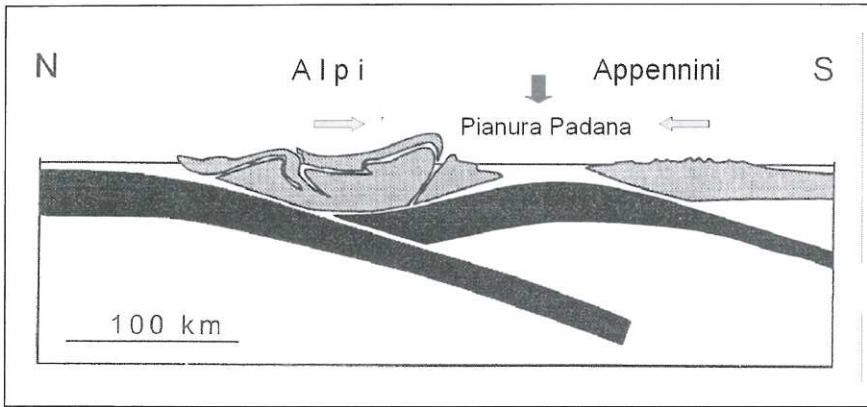


Figura 2.1. Collisione Alpi-Appennini e formazione del bacino padano (da ELTER P. e PERTUSATI P.C., 1973; modificato).

Emilia-Romagna in scala 1:250.000 (BOCCALLETTI e MARTELLI, 2004). Le unità geologiche che costituiscono la parte più profonda della pianura (da P2, verso il basso fino a B) sono le stesse presenti nell'Appennino, mentre le unità indicate come Qm, a e b sono presenti unicamente in pianura. In sezione si nota che la deformazione tettonica interessa principalmente le unità profonde, ma influenza anche le unità più superficiali in particolare per quel che riguarda il loro spessore.

Questo è ben visibile per l'unità Qm, ma è anche osservabile, se pur non in modo chiaro per problemi di scala, per le unità b ed a; la variazione di spessore di queste unità si vede in modo particolare nella zona di alto strutturale presso il Fiume Po, dove le unità più profonde sono molto sollevate e quelle più superficiali molto sottili.

La presenza delle stesse unità sia nell'Appennino che nella pianura e la continuità dello stile delle strutture tettoniche tra i due settori, permette di dire che l'Appennino continua sepolto al di sotto della pianura.

2.1.2. I depositi alluvionali e marino marginali nella pianura emiliano-romagnola.

Le unità più prossime alla superficie topografica nella sezione di figura 2.2 rappresentano le ultime fasi del riempimento del bacino padano: si passa infatti dall'unità P che ha una sedimentazione di mare profondo, all'unità Qm che contiene depositi di piattaforma e poi depositi costieri, ed infine alle unità a e b che rappresentano la sedimentazione fluviale.

Questo trend regressivo della sedimentazione alla scala dell'intero bacino è dovuto alle modifiche che le spinte tettoniche nel corso degli

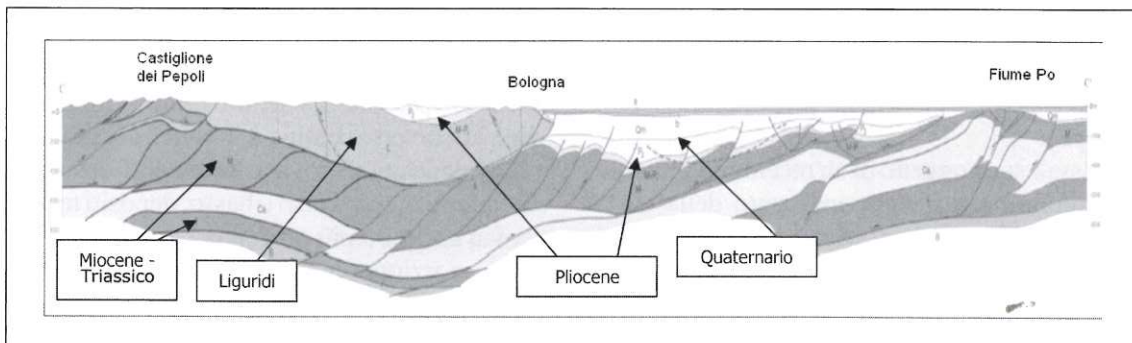


Figura 2.2. Sezione geologica indicante la struttura profonda dell'Appennino e della pianura emiliana (tratto da Carta sismotettonica della Regione Emilia-Romagna, 2004).

ultimi milioni di anni hanno causato alla geometria dello stesso bacino sedimentario padano stesso, che è quindi passato dall'essere un bacino di mare profondo, all'attuale bacino sedimentario alluvionale. La sedimentazione fluviale nella pianura emiliano-romagnola inizia, se pur non in modo simultaneo in ogni sua porzione, circa 650.000 anni fa.

Per quel che riguarda la ricostruzione della geologia nella parte di pianura della sezione geologica di figura 2.2, sono state utilizzate le informazioni dei numerosissimi rilievi sismici eseguiti da ENI in alcuni decenni per la ricerca di idrocarburi, che hanno permesso una ricostruzione dettagliata della geologia profonda, per uno spessore dell'ordine delle migliaia di metri. L'interesse di ENI era concentrato sulle unità geologiche profonde in cui erano o potevano essere presenti gli idrocarburi, ovvero l'unità indicate in figura con la lettera P oltre ad alcune delle sottostanti. La porzione più superficiale, composta dai sedimenti costieri e alluvionali (Qm, b ed a), non era stata quindi analizzata in modo dettagliato durante l'esplorazione ENI.

La porzione che occupa le prime centinaia di metri dal piano campagna non era stata oggetto di studi di ampio respiro di carattere stratigrafico e cartografico neppure in ambiti diversi da quello della ricerca petrolifera: ad esempio la vecchia Carta geologica ufficiale d'Italia non ne dava sostanzialmente conto. Ciò a fronte di una importanza molto significativa di questa porzione più superficiale, dove hanno sede i principali serbatoi di acque dolci della nostra regione.

Fin dagli inizi degli anni '90, nell'ambito dello sviluppo del progetto di Cartografia Geologica d'Italia in scala 1:50.000 (progetto CARG, ora interrotto), il Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna ha impegnato importanti risorse per colmare questa lacuna di conoscenze, culminata nella realizzazione e pubblicazione nel 1998, in collaborazione ad ENI-AGIP, del volume: «*Riserve Idriche Sotterranee della Regione Emilia-Romagna*» (RIS) (REGIONE EMILIA-ROMAGNA e ENI-AGIP, 1998).

Nell'ambito di queste attività si è pervenuti alla proposta di una nuova stratigrafia, valida a livello di bacino, per i depositi alluvionali e marino marginali presenti nelle prime centinaia di metri del sottosuolo.

La stratigrafia pubblicata nella cartografia geologica ufficiale per i depositi alluvionali affioranti e sepolti della pianura emiliano-romagnola, a partire dal foglio Ravenna (REGIONE EMILIA-ROMAGNA, SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA, 1999) e quella presentata in RIS (di cui si dirà diffusamente al paragrafo successivo), sono del tutto analoghe, se pur con una nomenclatura diversa dovuta ai diversi ambiti e alle diverse finalità di questi dei due progetti.

Lo studio del sottosuolo della pianura emiliano-romagnola è stato intrapreso con una metodologia di analisi appositamente sviluppata dal Servizio geologico regionale.

Lo studio fu avviato agli inizi degli anni '90 con l'allestimento di una apposita banca dati geologici (fig. 2.3), che si è avvalsa della disponibilità di un grande numero di dati stratigrafici di sottosuolo (carotaggi, prove penetrometriche, pozzi per acqua e pozzi per idrocarburi) e di numerosissime linee sismiche fornite da AGIP (ben 30.000 chilometri); i dati così raccolti furono studiati attraverso un gran numero di sezioni geologiche correlate tra loro (un esempio in figura 2.4, relativa alla conoide del Reno) e con i depositi affioranti nel margine appenninico (fig. 2.5). La realizzazione di quasi 400 carotaggi e 2500 prove penetrometriche, oltre ad alcune centinaia di datazioni al Carbonio 14 realizzate nei terreni prelevati dal sottosuolo, hanno permesso di verificare le correlazioni tracciate nelle sezioni geologiche. Lo studio delle linee sismiche ha invece assicurato che le linee di correlazione delle sezioni geologiche fossero congruenti con l'andamento dei livelli più profondi della pianura.

È importante sottolineare che in seguito alla pubblicazione del volume RIS sono stati effettuati degli studi del tutto analoghi anche in Lombardia (REGIONE LOMBARDIA, ENI DIVISIONE AGIP, 2002) ed in Piemonte (IRACE *et al.*, 2009), che hanno permesso di riconoscere le unità

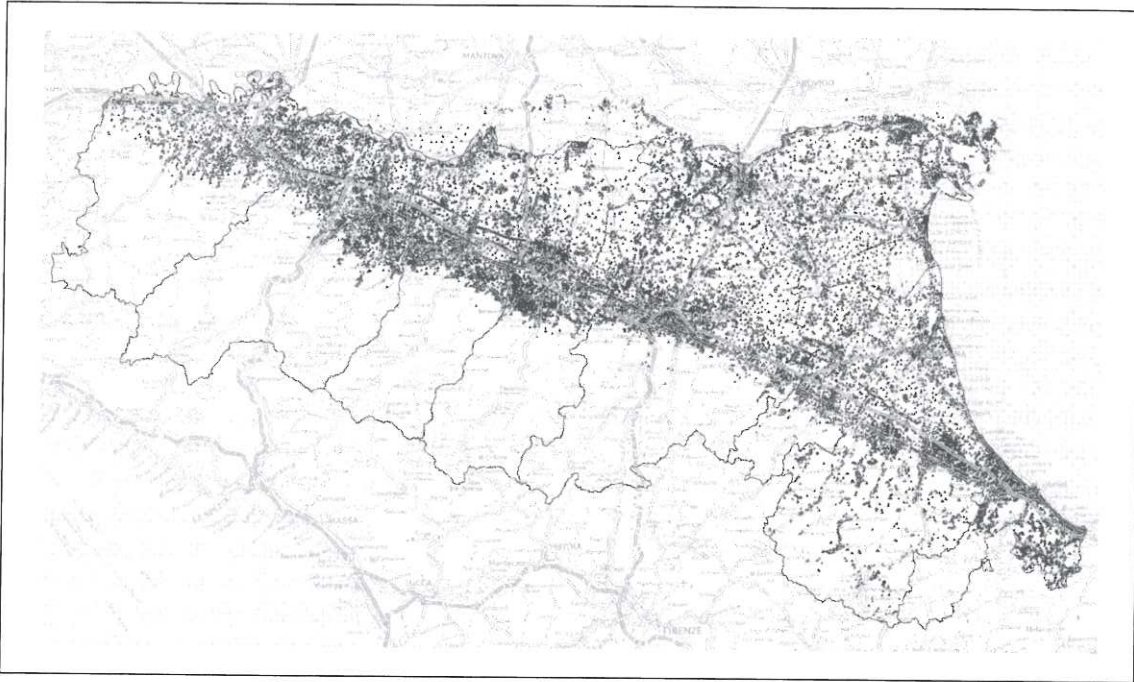


Figura 2.3. Ubicazione delle indagini geologiche presenti nella banca dati geognostici. In totale sono 54.500, di cui: 16.000 stratigrafie di pozzi per acqua; 7.500 carotaggi (di cui 375 fatti appositamente per verificare i dati raccolti); 31.000 prove penetrometriche (di cui 2.500 fatte appositamente).

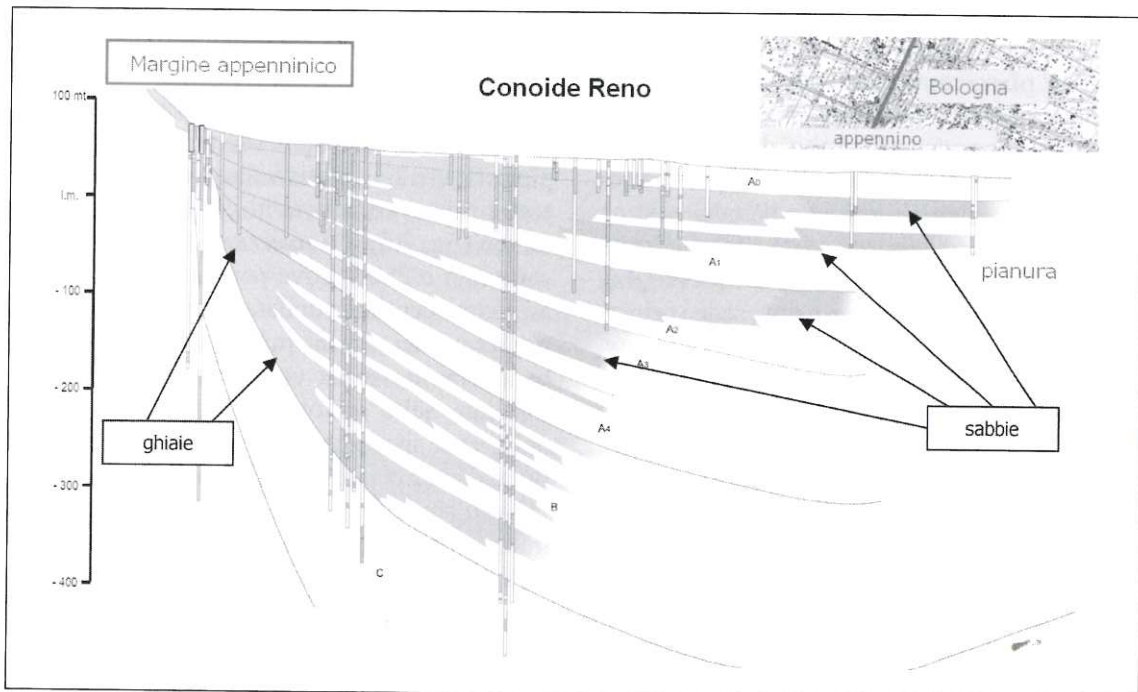


Figura 2.4. Sezione geologica della conoide del fiume Reno (Bologna); profondità dei sedimenti: circa 450 m; sviluppo: circa 10 km (esagerazione verticale 25x).

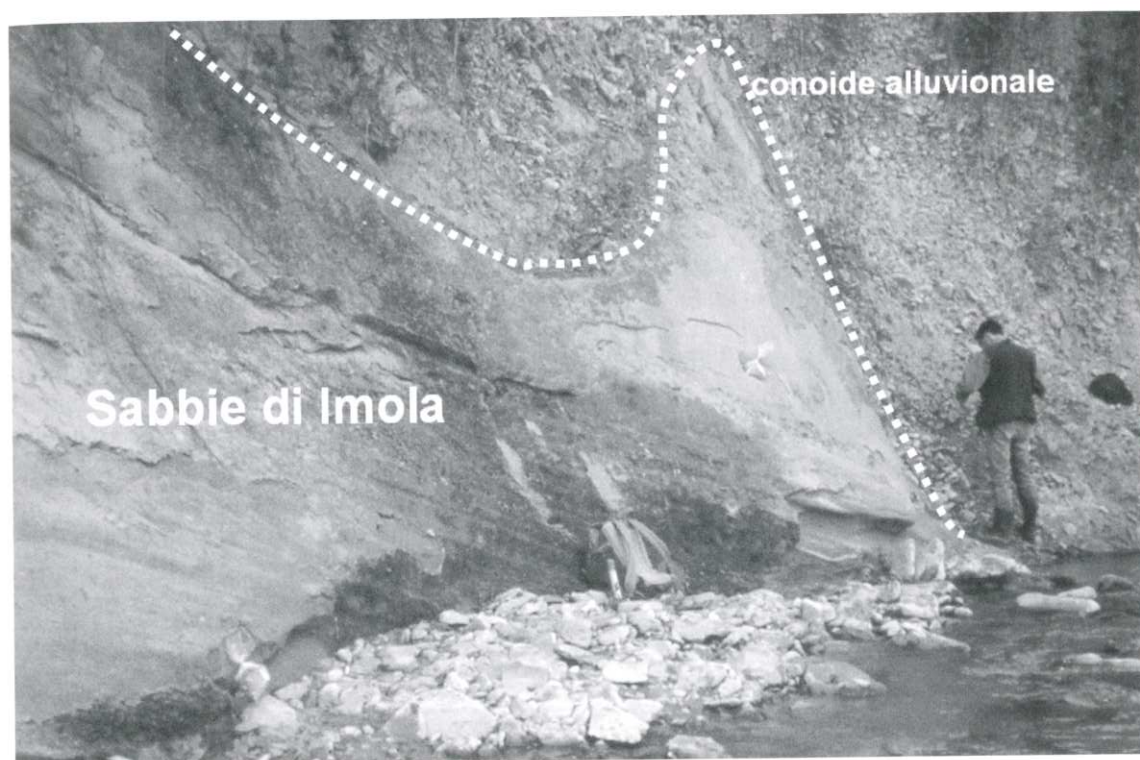


Figura 2.5. Contatto affiorante tra l'unità Qm (Sabbie di Imola) e le ghiaie di conoide alluvionale sovrastanti.

proposte in RIS in tutta la pianura padana, ampliandone così ulteriormente la valenza dal punto di vista stratigrafico.

Gruppi acquiferi

Con la pubblicazione di RIS è stata proposta una nuova stratigrafia a livello di bacino per i depositi alluvionali e marino marginali presenti nelle prime centinaia di metri del sottosuolo padano, in questo lavoro vengono infatti introdotte tre nuove unità stratigrafiche per la pianura emiliano-romagnola, denominate Gruppo acquifero A, B e C (fig. 2.6). Come si vede in figura 2.6 il Gruppo acquifero A è il più recente ed ha un'età che va dall'Attuale sino a 350.000-450.000 anni, segue il Gruppo acquifero B, che va da 350.000-450.000 anni sino a 650.000 circa, ed infine il Gruppo acquifero C che va da 650.000 sino a oltre 3 milioni di anni.

Sempre in figura 2.6, sono riportate anche le sinonimie tra queste unità e quelle utilizzate nella Carta Geologica d'Italia: il Gruppo

acquifero A corrisponde al Sintema emiliano-romagnolo superiore, il Gruppo acquifero B al Sintema emiliano-romagnolo inferiore, il Gruppo acquifero C a diverse unità affioranti nell'Appennino, la più recente delle quali è la Formazione delle Sabbie Gialle di Imola (AMOROSI *et al.*, 1998), di cui si accennerà in seguito.

Le unità stratigrafiche utilizzate in RIS appartengono alla categoria delle unità idrostratigrafiche che si caratterizzano per essere formate da una o più sequenze deposizionali e per la presenza di un livello basale scarsamente permeabile e molto continuo, che funge da barriera di permeabilità tra le diverse unità individuate. Una sequenza deposizionale è costituita da una successione di sedimenti geneticamente legati tra loro, che sono compresi alla base ed al tetto da superfici di discontinuità della sedimentazione e dalle superfici di continuità ad esse correlate; le sequenze deposizionali contengono al loro interno vari sistemi ed am-

bienti deposizionali, e quindi associazioni di facies e litologie di diverso tipo.

Il Gruppo acquifero A ed il Gruppo acquifero B, entrambi formati principalmente da depositi alluvionali, sono costituiti da depositi ghiaiosi di conoide alluvionale, da depositi prevalentemente fini di piana alluvionale e dai depositi sabbiosi della piana a meandri del Po (fig. 2.7).

Come ricordato poc' anzi, trattandosi di sequenze deposizionali, il criterio di distinzione di queste unità non è basato su criteri litologici (infatti la stessa unità contiene litologie diverse), ma genetici (ovvero i depositi si sono messi in posto durante lo stesso intervallo di tempo e con meccanismi della sedimentazione legati tra loro).

Mentre il gruppo acquifero A e B sono, come detto, costituiti principalmente da depositi alluvionali, il gruppo acquifero C è formato principalmente da depositi costieri e marino marginali. Esso è costituito da pacchi di sabbie alternati a sedimenti più fini. In prossimità dei principali sbocchi vallivi il gruppo acquifero C contiene anche delle ghiaie intercalate alle sabbie, che costituiscono i delta conoide dei fiumi appenninici durante il Pleistocene inferiore e medio.

Così come i contatti tra le sequenze deposizionali, anche i contatti tra i gruppi acquiferi corrispondono a superfici di discontinuità della sedimentazione ed alle superfici di continuità ad esse correlate. Le superfici di discontinuità possono essere riconosciute da discor-

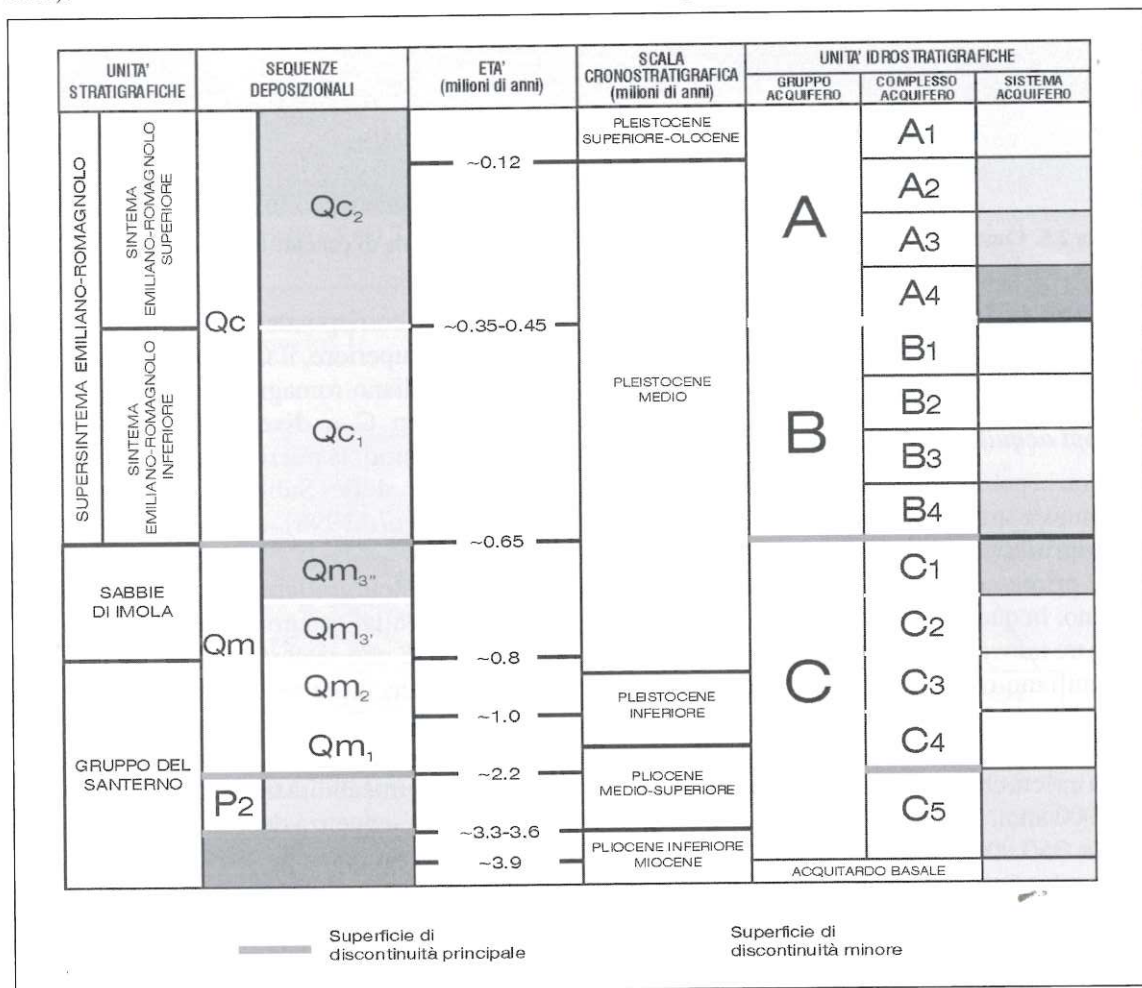


Figura 2.6. Nuova stratigrafia per il sottosuolo padano (tratto da REGIONE EMILIA-ROMAGNA e ENI-AGIP, 1998).

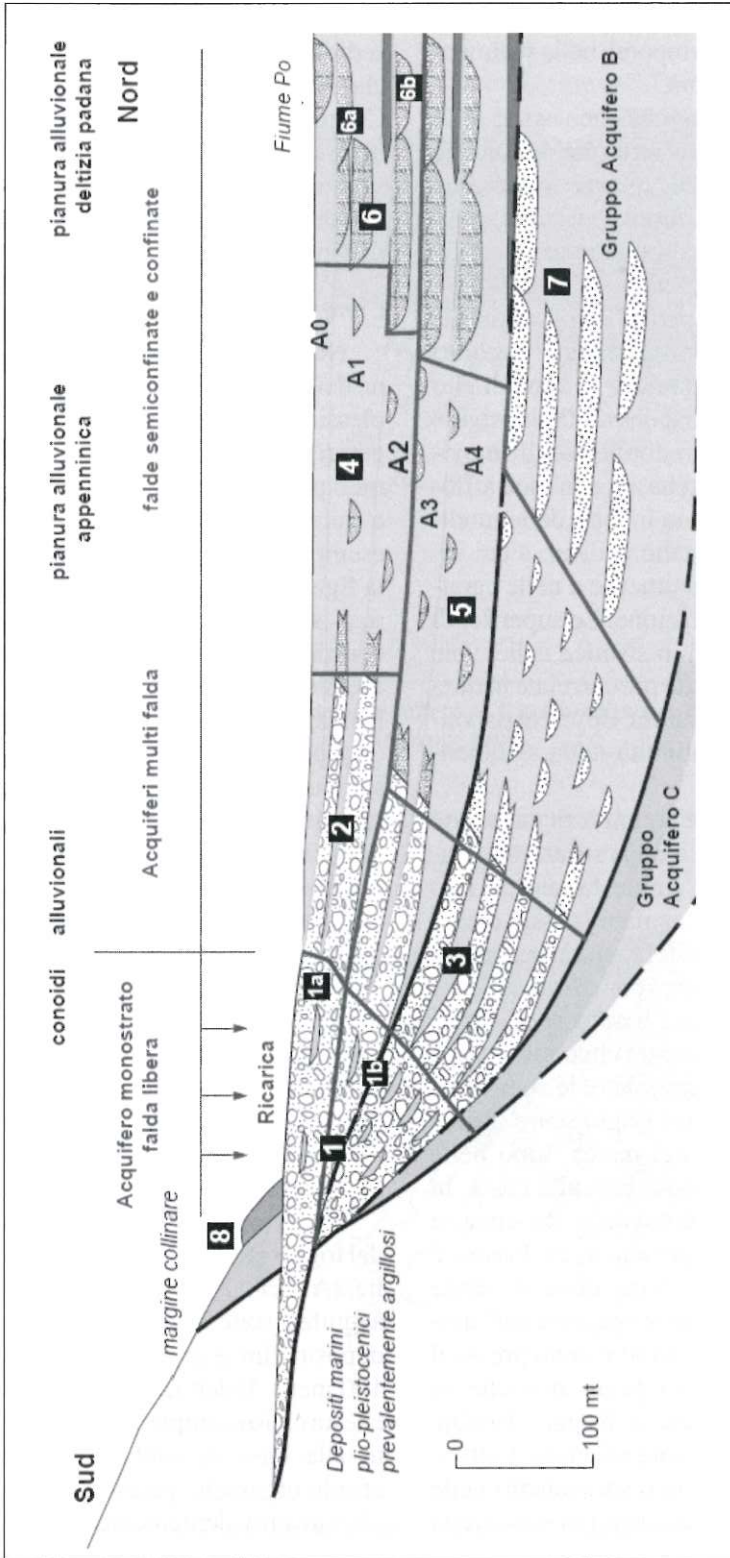


Figura 2.7. Sezione schematica del sottosuolo della pianura dell'Emilia-Romagna. Si evidenziano i gruppi acquiferi, complessi acquiferi (solo per il gruppo acquifero A) e la distribuzione dei corpi grossolani al loro interno. I numeri bianchi su sfondo nero e le righe grigie sono illustrate al paragrafo 6.3.1.4.

danze nella geometria della sedimentazione o dalla presenza di lacune temporali nella sedimentazione tra le diverse unità.

In generale le discontinuità sono osservabili nelle zone prossime alle strutture tettoniche attive presenti nel bacino, mentre lontano da queste strutture le discontinuità passano a superfici di continuità della sedimentazione.

Per quel che riguarda RIS, i contatti tra i gruppi acquiferi sono superfici di discontinuità che corrispondono a discordanze angolari osservabili nelle linee sismiche in zona di alto strutturale. Si tratta di discontinuità di origine tettonica, che coincidono con le fasi di movimento dei fronti della catena appenninica affiorante e sepolta e che hanno indotto delle modifiche nella forma del bacino padano, a cui seguono variazioni nelle geometrie e nelle caratteristiche della sedimentazione. Le superfici di discontinuità osservabili in sismica nelle zone di alto strutturale sono state poi correlate in tutta la restante parte della pianura, dove corrispondono a superfici di continuità della sedimentazione.

In RIS per ognuna delle unità riconosciute sono state prodotte delle mappe strutturali relative alla profondità del limite basale ed allo spessore dei depositi grossolani (ghiaie e sabbie), presenti all'interno delle unità stesse. Ad esempio, la figura 2.8 indica con diverse tonalità la profondità del limite basale del Gruppo Acquifero A. La figura mostra chiaramente che il limite basale è molto articolato, le zone dove il limite è più profondo (in grigio scuro, fino a - 350 metri sul livello del mare), sono nella parte mediana della pianura fino alla costa, in provincia di Modena, Bologna e Ravenna, e all'estremo nord delle provincie di Parma e Reggio. Al contrario le zone dove il limite basale è più superficiale (e lo spessore dell'unità, di conseguenza, è più ridotto) sono presso il margine appenninico e lungo un arco che va dalla provincia di Ferrara a Reggio Emilia. Queste differenze di spessore riflettono l'attività delle faglie sepolte, con inspessimenti nelle zone di sinclinale e assottigliamenti nelle anticlinali.

La figura 2.9 indica invece lo spessore dei sedimenti grossolani del Gruppo Acquifero A, che sono più spessi dove il grigio è più scuro. Come si vede queste aree sono in prossimità delle conoidi dei fiumi emiliani e nella zona settentrionale e nord orientale della pianura, caratterizzata dalla sedimentazione di origine padana.

Complessi acquiferi

Nella stratigrafia proposta in RIS, all'interno dei Gruppi Acquiferi vengono distinti i Complessi Acquiferi: delle unità idrostratigrafiche gerarchicamente inferiori denominate con numeri progressivi a seguito del nome del Gruppo a cui appartengono (A0, A1, B1, ecc.). Un esempio di questa sotto-divisione è visibile nella figura 2.10, dove è riportata una delle numerose sezioni geologiche pubblicate in RIS e consultabili nel sito web del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna.

Come i Gruppi, anche i Complessi acquiferi sono unità idrostratigrafiche e come tali corrispondono, come sopra ricordato, ad una sequenza deposizionale e sono caratterizzati dalla presenza di un livello acquitardo basale, costituito da sedimenti fini ben riconoscibile e molto continui.

Anche i complessi acquiferi, così come i gruppi acquiferi, hanno una corrispondenza nelle unità stratigrafiche utilizzate nel progetto di Cartografia Geologica Nazionale, e quindi sono riconoscibili oltre che in tutte le sezioni del RIS, anche nelle sezioni geologiche di questo progetto di cartografia geologica.

La sezione geologica di figura 2.11a è tratta dal foglio «Rimini» della Carta Geologica d'Italia (APAT, 2005) e mostra che i complessi acquiferi sono formati da alternanze cicliche di depositi fini e grossolani spessi ognuno circa 100 metri. Il dettaglio della figura 2.11b indica che un ciclo (complesso acquifero A1) è formato alla base da sabbie costiere associate ad argille organiche palustri, poi da depositi alluvionali prevalentemente fini e poi al tetto da ghiaie di conoide alluvionale. Ogni complesso

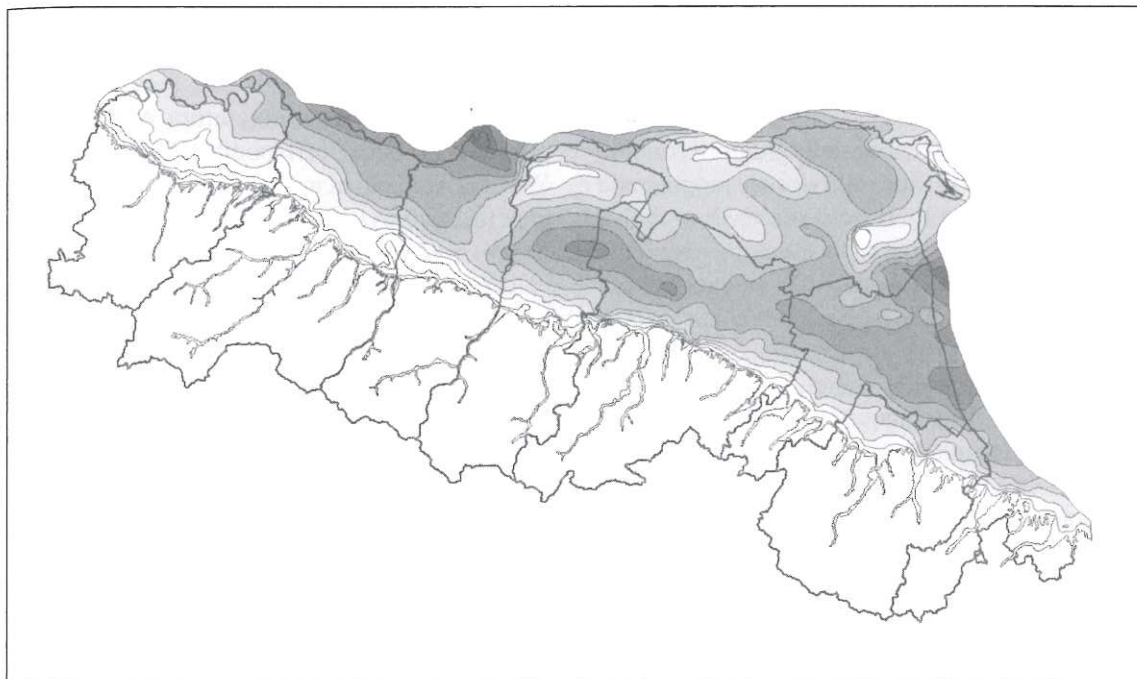


Figura 2.8. Andamento del limite basale del gruppo acquifero A. Il grigio più scuro indica le zone in cui l'unità è più profonda (tratto da REGIONE EMILIA-ROMAGNA e ENI-AGIP, 1998).

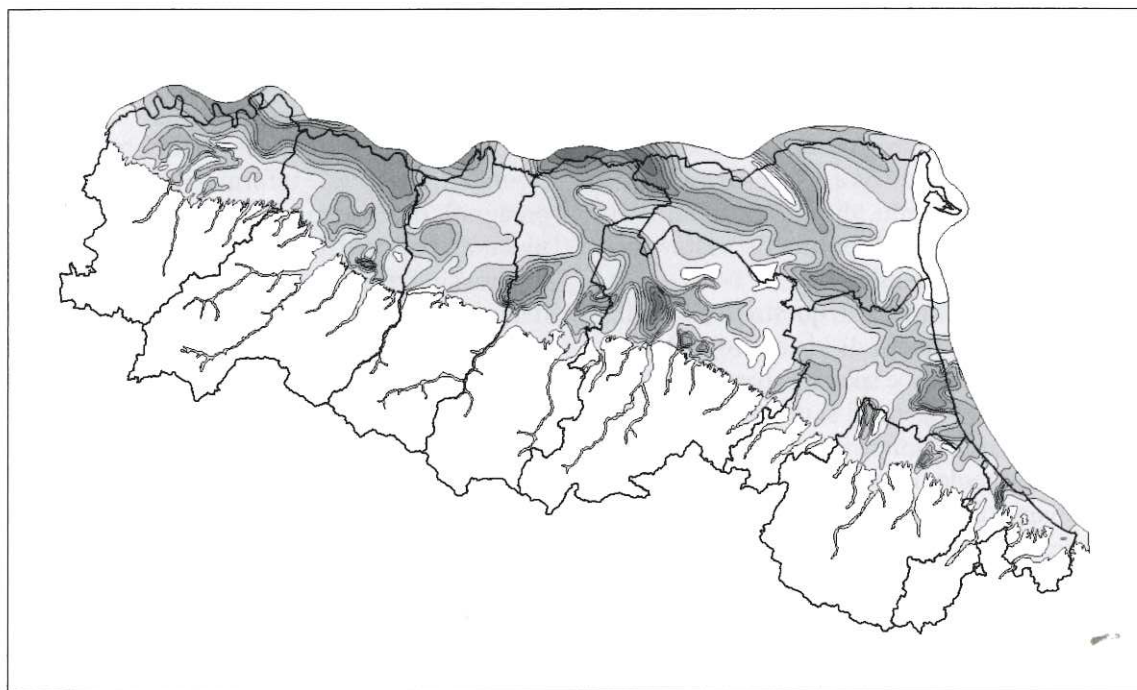


Figura 2.9. Isopache dei sedimenti grossolani nel gruppo acquifero A. In grigio scuro sono indicate le zone più ricche ghiaia e sabbia (tratto da REGIONE EMILIA-ROMAGNA e ENI-AGIP, 1998).

acquifero riflette quindi un ciclo trasgressivo – regressivo. La parte trasgressiva è marcata dalle sabbie marine e poi, verso l'alto, aumenta progressivamente l'energia della sedimentazione fluviale; la progradazione delle ghiaie di conoide al di sopra della pianura alluvionale rappresenta la chiusura del ciclo. Il ciclo successivo (A0), è incompleto e di esso è rappresentata solamente la parte inferiore trasgressiva marcata ancora una volta da argille organiche e poi sabbie costiere.

Il livello di argille organiche che marca la base del complesso acquifero A0 è riconoscibile in grandissima parte della pianura emiliano romagnola e costituisce un ottimo livello guida dal punto di vista stratigrafico. Questo livello è costituito da alcuni metri di argille scure, a tratti torbose che si trovano in pianura ad una profondità variabile tra 10 e 20 metri circa, a seconda dei diversi valori del tasso di subsidenza. Esso ha un'età pari a circa 10.000-14.000 anni, come testimoniato da svariate analisi al Carbonio 14 effettuate dal Servizio Geologico Regionale. La grande estensione di questo livello nella pianura emiliano-romagnola è dovuta alla rapida risalita del livello del mare che alla fine del Pleistocene provoca una rapida e drastica variazione nella forma della pianura alluvionale. I fiumi si trovano in qualche modo sbarrati dal rapido avvicinamento della linea di riva e questo causa dei diffusi impaludamenti, di cui le argille scure sono la risposta dal punto di vista della sedimentazione fluviale.

La grande diffusione di questo livello è rilevante anche dal punto di vista idrogeologico, esso infatti costituisce spesso la base della falda freatica di pianura, di cui si dirà in seguito.

Le datazioni assolute fatte ed il quadro delle conoscenze geologiche disponibili indicano che il complesso acquifero A1 corrisponde all'ultimo ciclo climatico-eustatico completo del Pleistocene superiore. La porzione basale trasgressiva del complesso acquifero corrisponde alla parte del ciclo climatico in cui la temperatura, e con essa il livello del mare, aumentano a livello globale; nello specifico di questo ciclo, questo momento corrisponde alla trasgressione

Tirreniana avvenuta circa 120.000 anni fa. La porzione terminale regressiva del complesso acquifero A1 corrisponde alla parte del ciclo climatico in cui la temperatura è più bassa, questo momento corrisponde alla glaciazione Würmiana, il cui acme è avvenuto circa 20.000 anni fa. La nuova trasgressione, che marca l'inizio del nuovo ciclo (A0), rappresenta il periodo caldo attuale e corrisponde alla trasgressione Flandriana.

Questi cicli climatici sono riconosciuti a livello globale e quindi i loro effetti sulla sedimentazione sono riconoscibili in tutta la pianura. Per questo motivo è stato possibile seguire e correlare i complessi acquiferi in tutte le sezioni della pianura emiliano-romagnola.

La figura 2.11b mostra anche le sinonimie tra i complessi acquiferi di RIS e le unità usate nella carta geologica; come si vede A0 corrisponde a AES8, A1 a AES7 e A2 a AES6. Come sopra ricordato, anche i gruppi acquiferi (non riportati nella figura), hanno sigle diverse: il Gruppo acquifero A, nelle carte geologiche è indicato come AES (Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore), il B come AEI (Sintema Emiliano-Romagnolo Inferiore), ed il C, in parte, come IMO (Sabbie di Imola) o CMZ (Sintema di Costamezzana).

La già citata sezione schematica mostrata in figura 2.7 riassume le informazioni riportate nei paragrafi precedenti, essa attraversa tutta la pianura a partire dall'Appennino fino al Po e ne illustra sinteticamente gli aspetti stratigrafici e deposizionali. Sono indicati i 3 gruppi acquiferi, i complessi acquiferi al loro interno, ed i principali ambiti della sedimentazione alluvionale all'interno dei gruppi acquiferi A e B.

2.1.3. La struttura del margine appenninico

La figura 2.7 schematizza il passaggio tra le porzioni appenniniche e quella di pianura.

Come si vede i depositi alluvionali prevalentemente ghiaiosi si ispessiscono molto rapidamente passando da pochi metri ad alcune centinaia di metri in una breve distanza. Al di sotto di queste ghiaie nelle zone più addossate all'Appennino sono presenti a bassa profondità

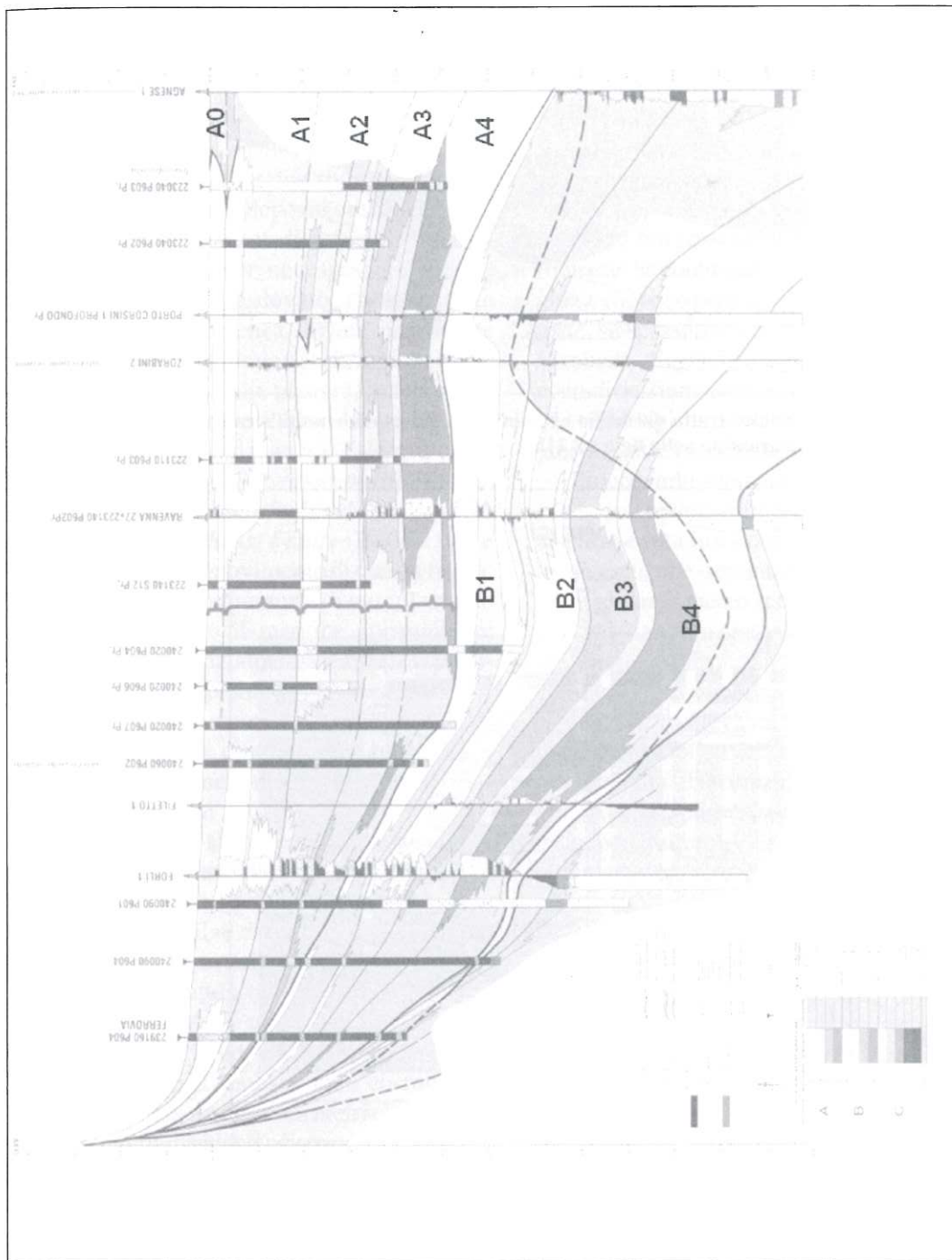


Figura 2.10. Sezione geologica dal margine appenninico forlivese fino alla costa romagnola (tratto da REGIONE EMILIA-ROMAGNA e ENI-AGIP, 1998; modificata).

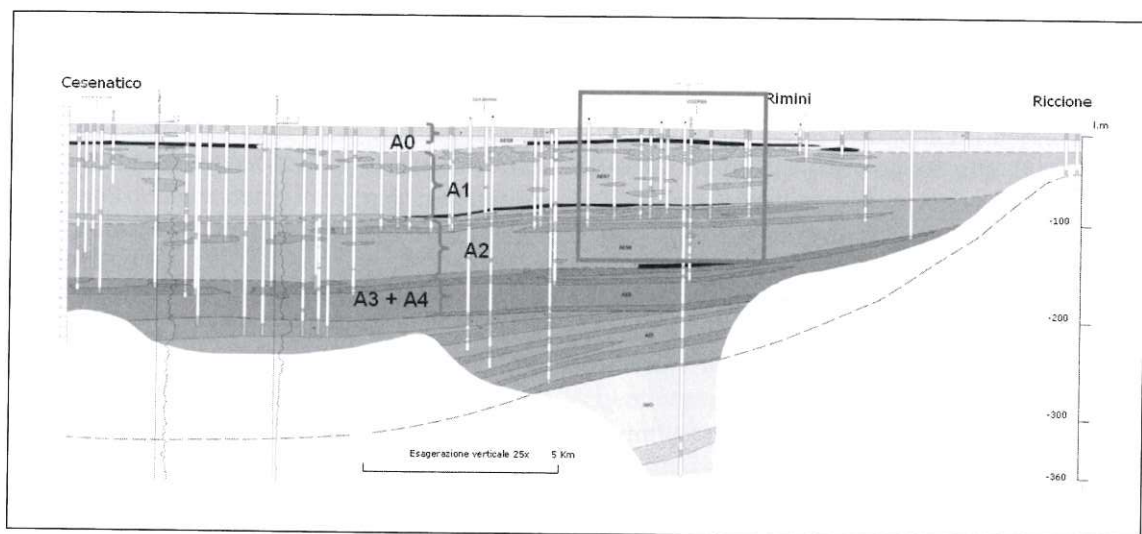


Figura 2.11a. Sezione geologica tratta dal foglio «Rimini» con riportate le unità stratigrafiche riconosciute. Il riquadro indica la parte ingrandita nella figura 2.11b.

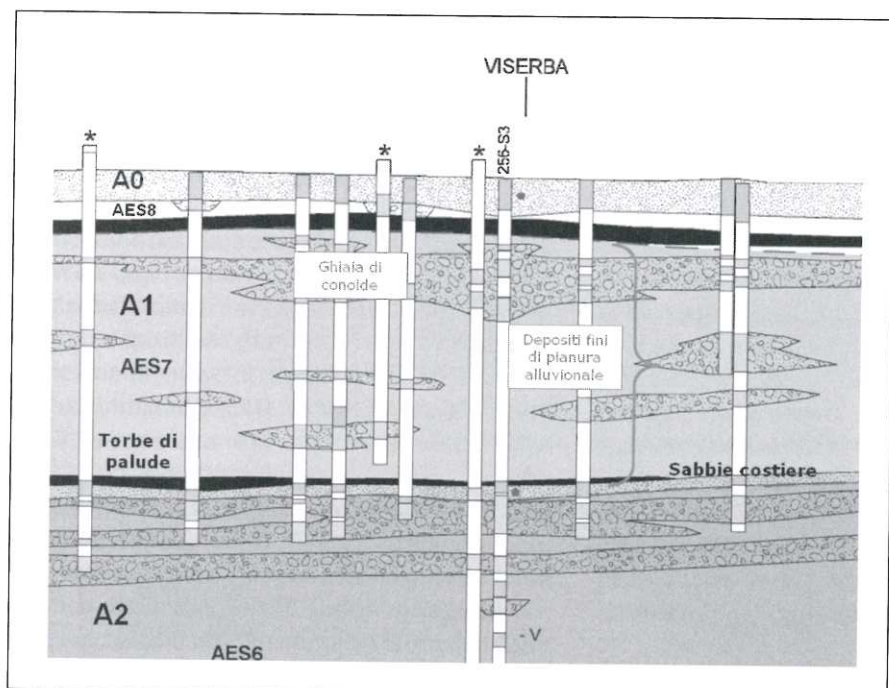


Figura 2.11b. Dettaglio della sezione geologica della figura 2.11a, mostrante la sedimentazione di una sequenza deposizionale all'interno di un singolo complesso acquifero.

delle sabbie che poi proseguono approfondendosi sotto alle ghiaie anche nelle porzioni più distali della pianura.

Le conoscenze della geologia del margine appenninico permettono, anche grazie all'osservazione diretta di affioramenti, scavi e carotaggi, di correlare queste sabbie sepolte alle

unità marino costiere (Sabbie di Imola, Sintema di Costamezzana) che rappresentano l'ultimo episodio della sedimentazione marina nella stratigrafia appenninica.

La figura 2.6 mostra il contatto erosivo in affioramento tra le Sabbie di Imola e le ghiaie di conoide alluvionale. Questo contatto prosegue

nel sottosuolo, inclinandosi in prossimità del margine, per poi diventare quasi orizzontale verso la pianura. L'esagerazione verticale di scala della sezione di figura 2.7 non dà conto della reale pendenza di questo contatto, che nelle zone dove è più ripido (ad esempio nella conoide del Reno, presso Bologna) è comunque inferiore ai 10 gradi.

La geometria del margine appenninico, con l'approfondimento dei depositi costieri sotto la pianura e lo sviluppo al di sopra di essi dei depositi alluvionali per uno spessore via via crescente verso nord è dovuto, come visto in precedenza, alla presenza di una importante struttura tettonica continua a scala regionale che separa l'Appennino dalla pianura, inducendo e favorendo la subsidenza che ha reso possibile la formazione stessa della pianura. Tale struttura è costituita da una faglia inversa nota nella letteratura geologica come «*faglia di margine*» o «*Pedeappenninic Thrust Fault*» (BOCCALETTI e MARTELLI, 2004). Il movimento di questa faglia, tutt'ora attiva, causa una sorta di basculamento che ha come fulcro il margine appenninico; mentre esso è sostanzialmente fermo, l'Appennino si solleva e la pianura si abbassa.

Questa struttura tettonica separa quindi gli acquiferi di pianura costituiti da depositi alluvionali sciolti, da quelli montani costituiti principalmente da rocce.

I soli acquiferi alluvionali non consolidati presenti nelle zone intravallive sono formati dai terrazzi alluvionali: i più recenti costituiscono le pianure intravallive di fondovalle, quelli più antichi sono sollevati dall'attività della struttura di margine e costituiscono dei lembi relitti di pianura sospesi al di sopra dei fiumi attuali (conoide montane, vedi paragrafo 6.2). In entrambi i casi questi depositi sono costituiti da ghiaie dello spessore di alcuni metri che poggiano direttamente sul substrato marino. Queste ghiaie sono sovrastate da depositi fini variamente pedogenizzati.

Le conoidi alluvionali

Le conoidi alluvionali caratterizzano la zona in cui procedendo dal margine appenninico ver-

so nord, subito dopo l'uscita del fiume dalla valle, lo spessore dei depositi alluvionali aumenta rapidamente, passando da pochi metri sino ad alcune centinaia di metri. I depositi delle conoidi alluvionali sono contraddistinti dalla presenza di ghiaie variamente alternate a sedimenti più fini.

Nelle zone più vicine al margine (conoide prossimali), le ghiaie prevalgono, e spesso sono affioranti direttamente sulla superficie topografica; i depositi fini sono rari e sottili, tali da non interrompere la continuità laterale e verticale delle ghiaie che sono pertanto sostanzialmente amalgamate, su spessori anche di molte decine di metri. I volumi di ghiaia maggiori caratterizzano le conoidi dei fiumi con bacini imbriferi più estesi ed in cui litotipi, una volta erosi, possano fornire ghiaie (calcarei soprattutto).

Procedendo verso nord aumenta la presenza e lo spessore dei sedimenti fini (limi più o meno argillosi e sabbiosi), che si organizzano in livelli persistenti che separano quindi la continuità delle ghiaie. Questo settore (conoide distali), è pertanto caratterizzato dall'alternanza di depositi ghiaiosi e fini, entrambi presenti in corpi tabulari molto estesi.

Un aspetto rilevante dal punto di vista geologico, osservabile nella sezione di figura 2.7, è relativo alla distribuzione complessiva delle ghiaie, che sono maggiormente presenti nel gruppo acquifero A rispetto al gruppo B.

Questa maggiore presenza di ghiaie è un effetto dell'evento tettonico che si sviluppa a cavallo della sedimentazione di queste due unità, che causa un sollevamento dell'Appennino ed un conseguente riarrangiamento del reticolo idrografico. I bacini imbriferi dei fiumi si ingrandiscono e se ne formano di nuovi. Conseguentemente si ingrandiscono le conoidi alluvionali esistenti e se ne formano di nuove, in corrispondenza degli apparati fluviali di neo formazione. Pertanto nella zona delle conoidi i sedimenti del gruppo acquifero A sono complessivamente più grossolani di quelli del gruppo acquifero B.

In modo meno evidente, ciò è osservabile anche all'interno dello stesso Gruppo A: ad

esempio in molte conoidi appenniniche si osserva che il complesso acquifero A2 ed A1 contengono più ghiaie rispetto ai complessi acquiferi sottostanti. Ciò è sempre dovuto al sollevamento dell'Appennino e al conseguente ed ulteriore ampliamento dei bacini imbriferi montani. Questa maggiore presenza di ghiaie in A1 e A2 fa di essi degli acquiferi molto produttivi, e infatti in essi si concentra un gran numero di pozzi per acqua. Questa osservazione è alla base del criterio che ha portato alla suddivisione in verticale dei corpi idrici di pianura, di cui si dirà ai paragrafi successivi, la cui divisione in superiori ed inferiori ricalca esattamente questa divisione stratigrafica (corpi idrici superiori: A1 più A2; corpi idrici inferiori: tutti i sottostanti).

Dal punto di vista idrogeologico le conoidi alluvionali, con i loro depositi molto permeabili e molto estesi, costituiscono i principali acquiferi della pianura emiliano-romagnola. La zona prossimale delle conoidi costituisce un esteso acquifero freatico ricaricato direttamente dalle acque superficiali dei fiumi e delle piogge, mentre le conoidi distali sono sede di un complesso sistema di acquiferi multistrato con falde confinate e semiconfinate (fig. 2.7).

Gli acquiferi delle conoidi alluvionali sono sottoposti ad un importante prelievo idrico: in essi hanno sede i principali campi pozzi ad uso potabile che servono tutte le città allineate lungo la via Emilia, oltre a molti pozzi ad uso agricolo ed industriale.

La pianura alluvionale dei fiumi appenninici

Procedendo verso valle, sotto corrente rispetto alla zona delle conoidi, i corpi ghiaiosi passano lateralmente a sabbie, generalmente presenti all'interno di singoli corpi nastriformi (paleo alvei), le cui dimensioni solitamente sono di alcune centinaia di metri di larghezza e pochi metri di spessore. Questi corpi sabbiosi, costituiti dai depositi di riempimento di canale e di argine prossimale, sono inglobati in depositi prevalentemente fini, costituiti da alternanze di limi più o meno argillosi, argille e sabbie limose. Sono presenti anche argille ricche in sostanza organica, che a volte si concentrano in partico-

lari orizzonti costituendo dei veri e propri livelli guida con un preciso significato stratigrafico (indicando, come detto sopra, la base trasgressiva dei diversi complessi acquiferi). Questa zona, dominata dalla sedimentazione fine, costituisce la pianura alluvionale dei fiumi appenninici.

Dal punto di vista idrogeologico i depositi della pianura alluvionale dei fiumi appenninici costituiscono degli acquiferi di scarso interesse. I depositi grossolani, costituiti solamente da sabbie, sono infatti rari e poco continui; la loro ricarica è inoltre scarsa, infatti questi acquiferi sono sempre confinati, e ricevono solamente l'acqua che, infiltrata nelle zone di ricarica delle conoidi, riesce, molto lentamente, a fluire sino alla pianura.

La pianura alluvionale e deltizia del Fiume Po

Procedendo verso nord nell'osservazione della sezione di figura 2.7, si incontrano estesi corpi sabbiosi che si alternano a sedimenti fini. Queste sabbie costituiscono la sedimentazione del Fiume Po. Esse sono presenti in strati amalgamati tra loro a formare pacchi spessi anche alcune decine di metri di spessore, e svariati chilometri di estensione. All'interno delle sabbie sono presenti anche ciottoli ghiaiosi che si riscontrano generalmente nel tratto più occidentale del corso del fiume, sino alla zona reggiana.

Mentre nella parte occidentale della regione questi depositi sono sempre di origine alluvionale, verso est essi costituiscono i vari apparati deltizi che il Po ha sviluppato nel Pleistocene-Olocene.

I sedimenti fini che si alternano agli strati sabbiosi sono costituiti da limi più o meno argillosi, argille e sabbie limose. Sono presenti anche argille ricche in sostanza organica, con significato stratigrafico analogo a quello descritto al paragrafo precedente.

Un aspetto rilevante dal punto di vista geologico riguarda la distribuzione di questi corpi sabbiosi, che nel gruppo acquifero A e nel gruppo acquifero B sono distribuiti in modo diverso. La figura 2.7 mostra infatti chiaramente che i corpi sabbiosi padani sono più spostati

verso nord nel gruppo A rispetto al gruppo B.

Questo spostamento della sedimentazione padana è un effetto del movimento delle principali faglie inverse affioranti e sepolte dell'Appennino e della pianura. Il movimento di queste faglie produce il sollevamento dell'Appennino e della parte più meridionale della pianura, e induce di conseguenza uno spostamento verso nord della parte più depressa del bacino, che è interessata dalla sedimentazione padana. Quindi la sedimentazione del Po nel tempo si sposta da sud verso nord lasciando spazio alla sedimentazione appenninica che diventa via via più significativa in termini di volume a causa del sollevamento dell'Appennino.

Questo spostamento è ben documentato soprattutto nella parte orientale della pianura emiliano-romagnola, grosso modo dalla pianura bolognese fino al mare (ISPRA, 2009).

Per questo motivo considerando una stessa verticale, nel Gruppo Acquifero A sono presenti depositi della pianura appenninica laddove nel sottostante Gruppo B sono presenti depositi padani.

Lo spostamento della sedimentazione padana verso nord avviene in modo molto evidente con l'evento tettonico che separa il Gruppo acquifero A e B, ma è comunque ben osservabile anche all'interno del solo Gruppo acquifero A. Ad esempio i depositi sabbiosi padani del complesso acquifero A1 sono presenti decisamente più a nord di quelli del complesso A2 (fig. 2.7). Come accennato più sopra, questo spostamento verso nord della sedimentazione padana accompagnato da contemporaneo avanzamento della sedimentazione appenninica che va ad occupare le zone dove erano precedentemente presenti i depositi padani, è tipico della pianura bolognese e romagnola.

Dal punto di vista idrogeologico i depositi della pianura alluvionale e deltizia del Po costituiscono degli acquiferi confinati molto permeabili e molto estesi. L'attuale corso del fiume Po e talora anche alcuni suoi affluenti alpini (es.: F.Mincio) riescono a ricaricare direttamente solo il primo di questi acquiferi confinati (A1), mentre gli acquiferi sottostanti sono troppo pro-

fondi per poter essere a contatto con le acque superficiali. Questi ricevono una ricarica remota che viene dallo stesso Po, in zone occidentali ed esterne alla Regione Emilia-Romagna, e dalle zone di ricarica appenniniche ed alpine, poste molto più a sud ed a nord di questi stessi acquiferi.

2.1.4. La falda freatica di pianura

Nella figura 2.7 si osserva che a partire dalla zona dove le ghiaie delle conoidi prossimali si approfondiscono sotto la pianura, è presente al di sopra di esse un livello di sedimenti prevalentemente fini che poi prosegue verso nord in tutta la pianura, ed è sede di una falda freatica dello spessore di circa una decina di metri.

Dal punto di vista stratigrafico questi sedimenti appartengono all'unità AES8, della carta geologica, equivalente dell'unità idrostratigrafica A0 (ISPRA, 2009). Lo spessore di queste unità stratigrafica può arrivare, nelle zone più subsidenti della pianura, ad oltre 20 metri e frequentemente la porzione inferiore di A0, può già contenere acquiferi confinati di limitata estensione. La porzione prettamente freatica interessa solamente la parte più alta di questa unità, per uno spessore, come detto, di una decina di metri circa. Tuttavia, per semplicità, nel proseguo di questo volume l'acquifero freatico di pianura verrà identificato come unità A0.

La base di questi depositi è frequentemente costituita da un livello argilloso ricco in sostanza organica di cui si è detto in precedenza. Al di sopra di questo livello si trovano sedimenti principalmente fini, costituiti da alternanze di sedimenti limosi, sabbiosi e argillosi in porzioni varie, che dal punto di vista ambientale riflettono depositi di canale fluviale, argine e pianura inondabile (fig. 2.12). Nella porzione costiera questi depositi fanno transizione alle sabbie di spiaggia, con uno spessore che arriva ai 25 metri circa.

Questi depositi costituiscono in qualche modo la terza dimensione dei terreni affioranti sulla superficie della pianura, descritti nella carta geologica di pianura (REGIONE EMILIA-ROMAGNA, 1999), e schematizzata in figura 2.13.

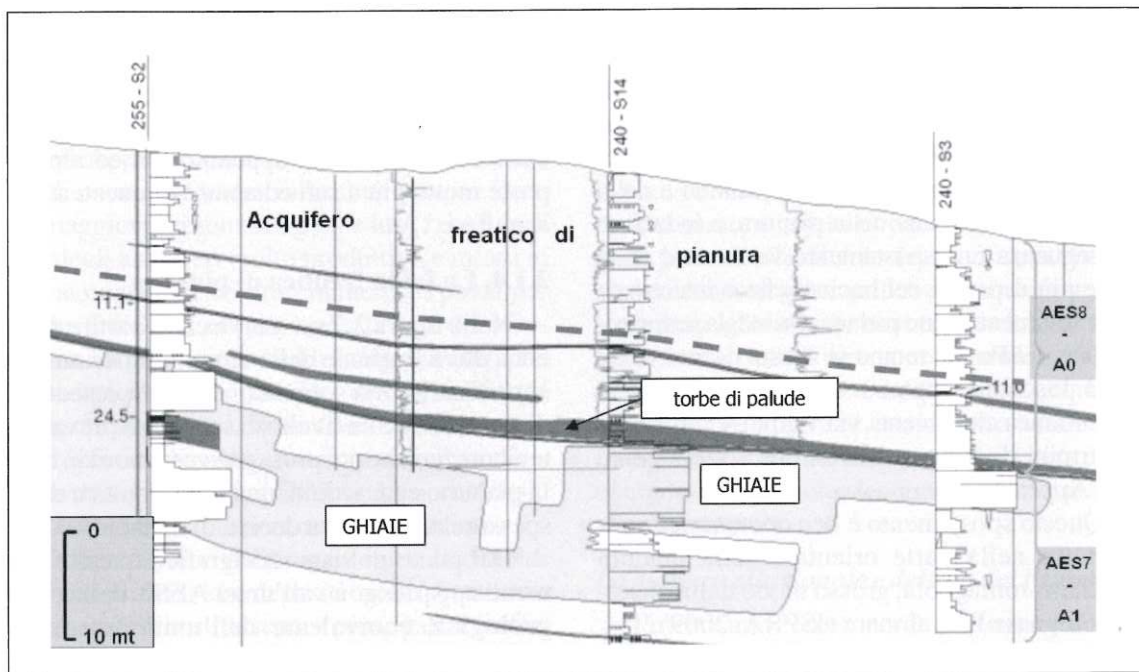


Figura 2.12. La sezione geologica mostra le unità stratigrafiche più superficiali della pianura, e l'acquifero freatico di pianura (la linea tratteggiata indica la base dell'acquifero freatico). Sono indicate le ghiaie dell'unità AES7-A1. Esagerazione verticale 50x (dal foglio geologico n. 255 (ISPRA, 2010) modificata).

In questa carta sono distinti i depositi della pianura alluvionale appenninica e padana della pianura deltizia e della pianura costiera.

Dal punto di vista idrogeologico l'acquifero freatico di pianura è un acquifero di modesto interesse per quel che riguarda il volume della risorsa, soprattutto se paragonato con gli acquiferi sottostanti. Tuttavia, data la sua profondità molto esigua, esso è interessato da molti pozzi a grande diametro, molto diffusi nei contesti rurali, che vengono utilizzati per scopi prevalentemente domestici.

Questi pozzi si trovano principalmente nelle zone dove affiorano i depositi sabbiosi degli argini fluviali, come è ben visibile dalla figura 2.14 dettaglio della figura 2.13 per la pianura modenese e reggiana. Come si vede, i pozzi che captano l'acquifero freatico, rappresentati dai punti neri, ricadono in modo sistematico nelle zone più sabbiose.

L'importanza dell'acquifero freatico della pianura è poi connessa alla sua diretta relazione con le acque superficiali dei corsi d'acqua e,

conseguentemente, con gli ecosistemi che da esse dipendono.

2.2. LA FORMAZIONE DI UNA CONOSCENZA GEOLOGICA DEGLI ACQUIFERI NELL'APPENNINO EMILIANO-ROMAGNOLO

Individuare e conoscere le unità geologiche sede dei principali acquiferi nell'ambito collinare e montano dell'Appennino emiliano-romagnolo è uno degli obiettivi perseguiti dal Servizio Geologico nel corso degli ultimi dieci anni.

È stato necessario compiere molta strada ma i risultati non si sono fatti attendere: a tutt'oggi, infatti, non si può più affermare che le acque sotterranee nell'ambito collinare e montano della Regione risultino sconosciute o misteriose: è infatti ormai possibile disporre di informazioni generali di buon livello, ottenute in base alle conoscenze geologiche, da cui trarre un quadro conoscitivo utile al lavoro degli Idrogeologi, quando siano chiamati ad appro-

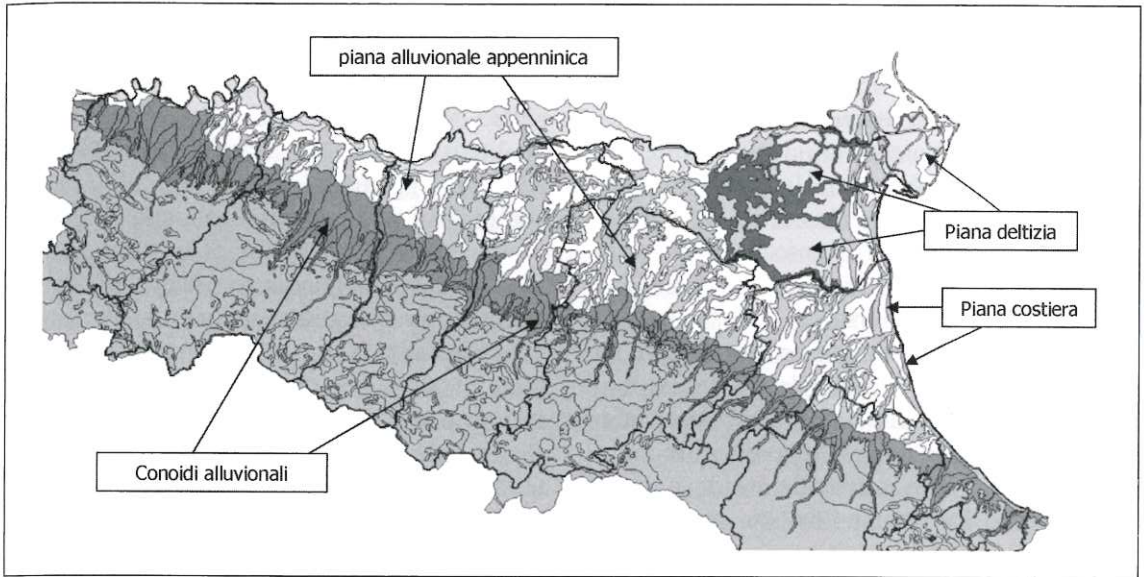


Figura 2.13. Carta geologica di pianura dell'Emilia-Romagna alla scala 1:250.000 (REGIONE EMILIA-ROMAGNA, 1999): *conoidi alluvionali appenniniche*; *pianura alluvionale appenninica e padana* (colori più scuri: sabbie e limi prevalenti; colori più chiari: limi e argille prevalenti); *pianura deltizia* (colori più scuri: sabbie; colori più chiari: limi e argille); *pianura costiera* (colori più scuri: sabbie; colori più chiari: limi e argille). Versione a colori nell'apposito allegato in fondo al volume.

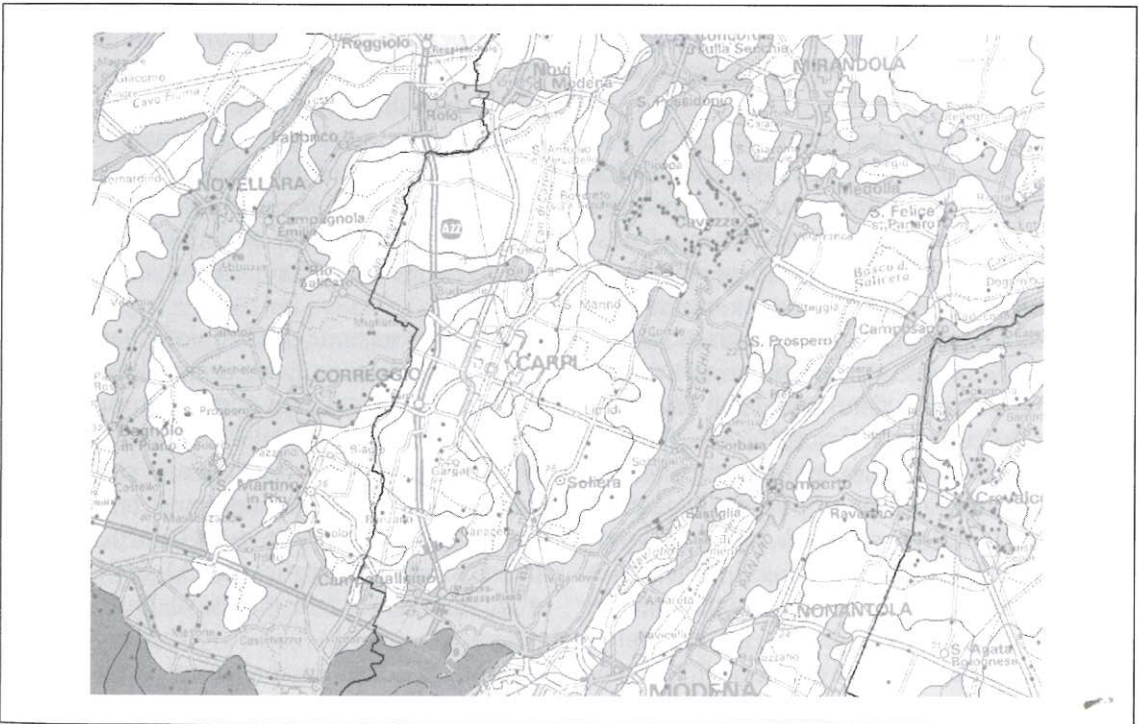


Figura 2.14. Dettaglio della precedente figura 2.13: *conoidi alluvionali appenniniche* (campitura scura in basso); *pianura alluvionale appenninica e padana* (grigio mediamente intenso: sabbie e limi prevalenti; grigio chiaro: limi e argille prevalenti); *pozzi freatici* (punti neri).