

REGIONE EMILIA ROMAGNA

COMUNE DI SOLAROLO

Provincia di Ravenna

PERMESSO DI RICERCA DI IDROCARBURI

“PONTE DEI GRILLI”

POZZO ESPLORATIVO ARMONIA 1dir

INTEGRAZIONI

allo STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE ed

ai DOCUMENTI PROGETTUALI

A seguito della richiesta del M.A.T.T.M. del 06.08.2015

I.2 - Caratterizzazione Geologica e Idrogeologica del sito

OTTOBRE 2015

Sommario

| | | |
|--------------|---|-----------|
| 1 | Premessa | 2 |
| 2 | Inquadramento geologico della pianura emiliano-romagnola | 3 |
| 2.1 | STRATIGRAFIA DEL SETTORE DI PIANURA | 5 |
| 2.1.1 | SUPER SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO | 5 |
| 2.1.1.1 | <i>Sistema Emiliano-Romagnolo Inferiore (AEI)</i> | <i>7</i> |
| 2.1.1.2 | <i>Sistema Emiliano-Romagnolo Superiore (AES).....</i> | <i>9</i> |
| 2.2 | INQUADRAMENTO GEOLOGICO AREA D'INTERESSE | 11 |
| 2.2.1 | INDAGINI GEOGNOSTICHE - STRATIGRAFIA DI DETTAGLIO..... | 12 |
| 2.2.1.1 | <i>Indagini Pregresse</i> | <i>12</i> |
| 2.2.1.2 | <i>Indagini in situ.....</i> | <i>13</i> |
| 2.2.1.3 | <i>- Caratteristiche litologico-stratigrafiche dell'area d'intervento</i> | <i>15</i> |
| 3 | Inquadramento idrogeologico..... | 18 |
| 3.1 | IDROGEOLOGIA DI AREA VASTA | 18 |
| 3.2 | INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO DELL'AREA D'INTERESSE | 23 |
| 3.3 | INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO SITO SPECIFICO..... | 29 |
| 3.3.1 | CENSIMENTO POZZI E DATI PIEZOMETRICI | 30 |
| 4 | Considerazioni conclusive | 34 |
| 5 | Riferimenti Bibliografici | 36 |

1 Premessa

Il presente documento è stato redatto con la finalità di rispondere in modo esaustivo al punto 3 della sezione Geologia & Sismica di cui alla Richiesta di Integrazioni ai sensi dell'articolo 26, comma 3, del D. Lgs. N.152/2006 e ss.mm.ii., pervenuta dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare – Commissione Tecnica di Verifica dell'Impatto Ambientale – VIA e VAS, in relazione alla procedura di Valutazione di Impatto Ambientale relativa al "Progetto di perforazione del sondaggio di ricerca di idrocarburi gassosi denominato **"Armonia 1 dir"**, nell'ambito del Permesso di Ricerca **"Ponte dei Grilli"**, conferito ad Aleanna Resources LLC con D.M. 30/03/2009.

Nello specifico, si richiede che *"Venga effettuata la caratterizzazione idrogeologica e geologica del sito, con particolare riferimento alle unità neo autoctone di pianura, che ricoprono il substrato appenninico"*.

Per gli approfondimenti relativi alla caratterizzazione idrogeologica e geologica del sito, con particolare riferimento alle unità neoautoctone di pianura, sono state consultate le "Note illustrative della Carta Geologica d'Italia – alla scala 1:50.000 – Foglio 239 Faenza" – ISPRA – Servizio Geologico d'Italia, 2009, i database della Regione Emilia-Romagna (Servizio geologico, sismico e dei suoli) e di ISPRA, la Relazione Generale (Quadro conoscitivo – Capitolo I) del Piano di Tutela delle Acque (PTA, adottato con Del. C.R. 633 del 22/12/2004 ed approvato con Delibera dell'Assemblea Legislativa n.40 del 21/12/2005), il rapporto "Le caratteristiche degli acquiferi della Regione Emilia Romagna - Report 2003" della Regione Emilia Romagna ed ARPA e successivi report (2010-2012 e 2013). Tra gli studi consultati si cita anche "Riserve Idriche Sotterranee della Regione Emilia-Romagna", pubblicato in collaborazione ad ENI-AGIP nel 1998, sui risultati del quale sono basati gran parte dei lavori successivi.

2 Inquadramento geologico della pianura emiliano-romagnola

Per l'inquadramento geologico generale e la caratterizzazione geologica del sito in cui sarà realizzato il pozzo esplorativo "Armonia 1dir", si è fatto riferimento alle "Note illustrative della Carta Geologica d'Italia – alla scala 1:50.000 – Foglio 239 Faenza" – ISPRA – Servizio Geologico d'Italia, 2009 (Progetto CARG) ed alla relativa cartografia geologica. Oltre alla revisione dei dati CARG di ISPRA, per l'analisi sito specifica dell'area d'intervento sono stati inoltre raccolti i dati geognostici disponibili nella banca dati della Regione Emilia Romagna (pozzi e indagini geotecniche) ed eseguite direttamente in situ indagini geognostiche, comprensive di 1 prova penetrometrica statica (CPT), una prova penetrometrica con piezocono (CPTU) ed un'indagine sismica di superficie tipo MASW.

Oltre all'analisi dei numerosi lavori precedenti, lo studio del sottosuolo da parte di ISPRA per il settore di pianura si è articolato in più fasi di lavoro, comprendenti la realizzazione di una banca dati geognostici, l'elaborazione di uno schema geologico preliminare e l'esecuzione di nuove indagini appositamente predisposte.

L'evoluzione sedimentaria plio-quadernaria del bacino padano registra una generale tendenza "regressiva", identificata al margine appenninico da Ricci Lucchi et alii (1982), da depositi marini di ambiente progressivamente meno profondo fino a depositi continentali. Il riconoscimento di una chiara superficie di inconformità di significato regionale da parte di questi autori ha consentito il primo inquadramento stratigrafico di tipo sequenziale della successione quadernaria affiorante al margine appenninico, portando alla identificazione di due cicli sedimentari principali, uno marino (Qm) e uno continentale (Qc). La superficie di discontinuità che separa i cicli Qm e Qc è stata successivamente identificata da Regione Emilia-Romagna & ENI-AGIP (1998) anche nel sottosuolo della Pianura Padana in corrispondenza del limite tra il Supersistema del Quaternario Marino (corrispondente al ciclo Qm di Ricci Lucchi et alii, 1982) e il sovrastante Supersistema Emiliano-Romagnolo (equivalente del ciclo Qc), si veda la sezione di Figura 10 e lo schema stratigrafico di Figura 9.

La successione quadernaria continentale dell'area pedeappenninica emiliano-romagnolo comprende da un lato l'insieme dei depositi alluvionali terrazzati affioranti nelle piane intravallive dei fiumi e torrenti appenninici e, dall'altro, i depositi di conoide e piana alluvionale della pianura antistante.

Dal punto di vista litologico, la successione quaternaria continentale al margine della pianura emiliano-romagnola è caratterizzata dall'organizzazione ciclica di depositi prevalentemente grossolani (corpi sedimentari ghiaiosi e sabbiosi di conoide alluvionale) e fini (limi e argille, con subordinate ghiaie e sabbie di piana alluvionale), in successioni di vario ordine gerarchico (Amorosi & Farina, 1995; Amorosi et alii, 1996; Regione Emilia-Romagna & ENI-AGIP, 1998).

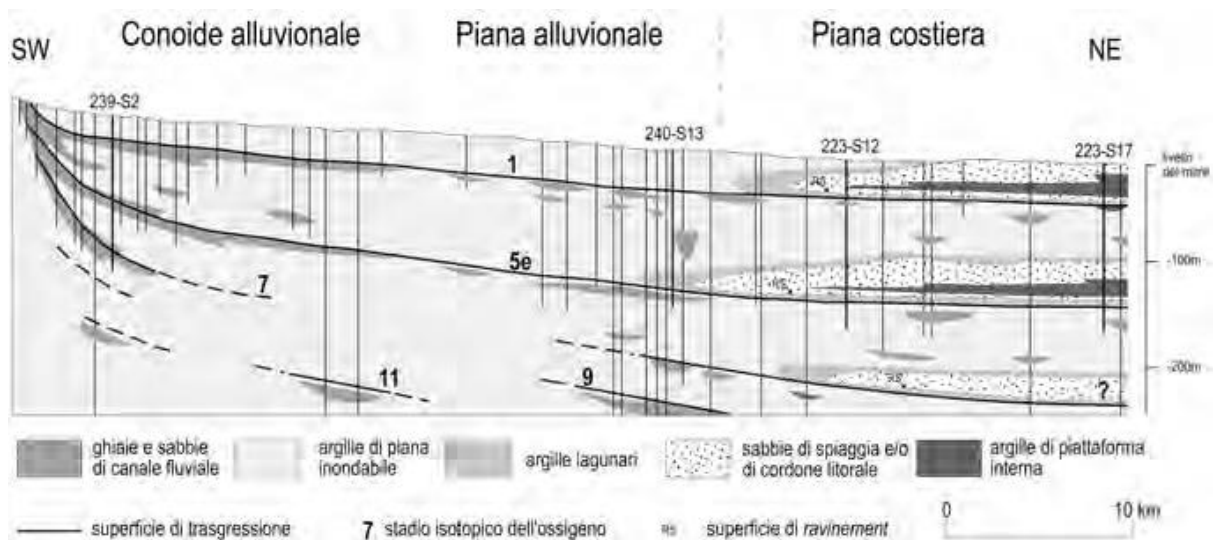


Figura 1 - Schema stratigrafico di correlazione dei depositi tardoquaternari, dai conoidi alluvionali alla piana costiera e distinzione dei principali cicli trasgressivo-regressivi alla scala dei 100ka (= subsistemi) (da Amorosi & Colalongo, 2005).

L'identificazione, all'interno della successione quaternaria continentale della pianura emiliano-romagnola, di un'alternanza ciclica di depositi grossolani e fini, quindi a grado di permeabilità molto differente, ha creato i presupposti per l'istituzione di unità idrostratigrafiche (complessi acquiferi A1-A4 e B1-B4 di Regione Emilia-Romagna & ENI-AGIP, 1998). La porzione inferiore di ogni complesso acquifero è data da un sistema acquitardo, costituito prevalentemente di depositi fini, passante verso l'alto ad un'unità prevalentemente ghiaiosa, corrispondente a un sistema acquifero (vedi capitoli successivi).

Al di sotto dei depositi quaternari continentali, si trovano i depositi marini dell'unità Sabbie di Imola del Pliocene medio, delle Argille azzurre del Pliocene inferiore-Pleistocene inferiore, dalle Marne di Cella del Pliocene inferiore, che poggiano sulle unità evaporitiche

messiniane, e sul sottostante basamento appenninico (Successione Umbro-Marchigiana-Romagnola).

2.1 STRATIGRAFIA DEL SETTORE DI PIANURA

Di seguito, sempre facendo riferimento alle "Note illustrative della Carta Geologica d'Italia – alla scala 1:50.000 – Foglio 239 Faenza" – ISPRA – Servizio Geologico d'Italia, 2009, vengono riportate le unità stratigrafiche che interessano l'area in esame.

Il quadro stratigrafico generale dei depositi quaternari della Pianura Padana si basa largamente su quanto riportato in Regione Emilia-Romagna & ENI-AGIP (1998). Tutte le unità continentali vengono raggruppate all'interno del Supersistema Emiliano-Romagnolo, suddiviso nel Sistema Emiliano-Romagnolo Inferiore (AEI) e nel Sistema Emiliano-Romagnolo Superiore (AES), all'interno di quest'ultimo sono presenti unità di rango inferiore (subsistemi), corrispondenti nei settori intravallivi della pianura a depositi di terrazzo fluviale e correlati nel sottosuolo della pianura e del Mare Adriatico a cicli trasgressivo-regressivi (Regione Emilia-Romagna & ENI-AGIP, 1998; Amorosi & Colalongo, 2005) che registrano la ciclicità elementare glacio-eustatica tardoquaternaria di frequenza attorno ai 100.000 anni (Amorosi et alii, 2004a).

Le unità stratigrafiche cartografate e qui di seguito descritte presentano in genere il requisito di base inconforme che ne consente l'attribuzione alla categoria delle UBSU (Unconformity Bounded Stratigraphic Units). Localmente, tuttavia, le superfici di discontinuità che delimitano queste unità possono passare a superfici di continuità stratigrafica.

2.1.1 SUPERSISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO

Il Supersistema Emiliano-Romagnolo è l'unità stratigrafica che comprende l'insieme dei depositi quaternari di origine continentale affioranti al margine appenninico padano e dei sedimenti ad essi correlati nel sottosuolo della pianura emiliano-romagnola. Questi ultimi comprendono depositi alluvionali, deltizi, litorali e marini, organizzati in successioni cicliche di vario ordine gerarchico. In affioramento, al margine appenninico padano, il Supersistema Emiliano-Romagnolo coincide con il ciclo Qc di Ricci Lucchi et alii (1982) e presenta un limite

inferiore inconforme, evidenziato da una discordanza angolare sui depositi litorali delle Sabbie di Imola o su quelli marini pliocenici di età più antica. Il Supersistema Emiliano-Romagnolo comprende due sistemi distinti (Sistema Emiliano-Romagnolo Inferiore, AEI e Sistema Emiliano-Romagnolo Superiore, AES), correlati con i depositi coevi di sottosuolo. Nel Foglio 239 affiorano solo i depositi di AES mentre i depositi di AEI sono stati individuati unicamente nel sottosuolo della pianura.

L'architettura deposizionale del Supersistema Emiliano-Romagnolo nell'area in studio è illustrata nelle sezioni geologiche in Figura 2 e Figura 3. In particolare in Figura 2 è rappresentata una sezione perpendicolare al margine appenninico passante per il torrente Lamone, posto immediatamente ad Est dell'area in studio e con caratteristiche morfologiche, geologiche ed idrogeologiche simili al Torrente Senio. In Figura 3 è riportata invece una sezione parallela al margine appenninico, passante poco a monte del sito di ricerca Armonia 1dir. Nell'insieme, la geometria dell'unità è marcatamente cuneiforme, con spessori variabili da poche decine di metri nei pressi del margine pedecollinare sino a circa 330 metri nella zona depocentrale. L'età del Supersistema è attribuibile al Pleistocene medio - Olocene (~700.000 anni B.P. - Attuale).

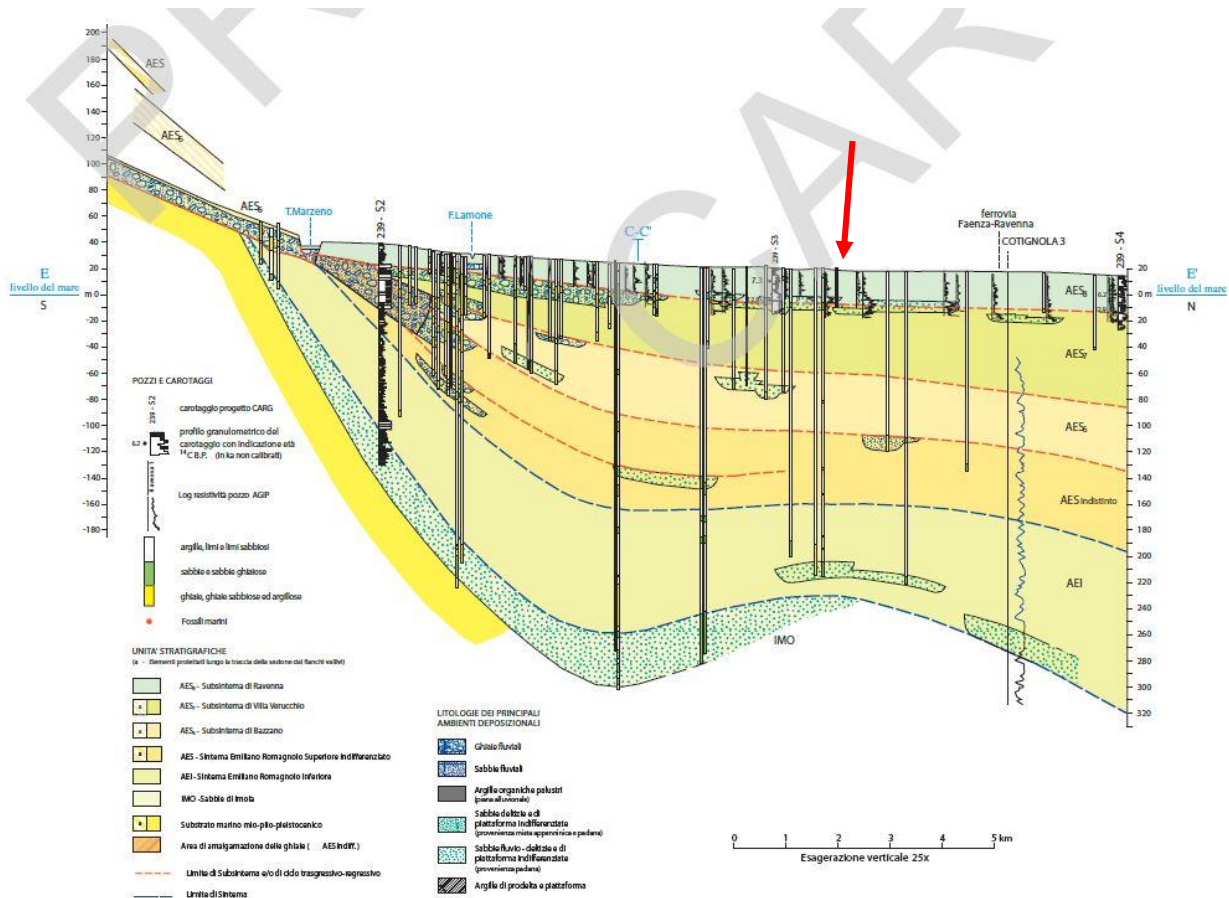


Figura 2 - Stratigrafia del Supersistema Emiliano-Romagnolo nell'area del Fiume Lamone (ad Est dell'area in Studio) - (ISPRA, 2009). La freccia rossa indica la proiezione sulla sezione del pozzo Armonia 1Dir.

2.1.1.1 Sintema Emiliano-Romagnolo Inferiore (AEI)

Il Sintema Emiliano-Romagnolo Inferiore costituisce la porzione più antica, non affiorante, del Supersistema Emiliano-Romagnolo. Considerata la profondità mediamente elevata (sino ad oltre 200 metri dal piano campagna - vedi Figura 2 e Figura 3) alla quale viene intercettato il tetto di AEI nel sottosuolo della pianura, sono pochi i casi di sondaggi in grado di descriverne l'organizzazione delle facies. In accordo con quanto riscontrato su gran parte del sottosuolo bolognese (Amorosi & Farina, 1995; Amorosi et alii, 1996; 2001; Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000 Foglio 221 - Bologna, in stampa) AEI è costituita prevalentemente dall'alternanza di limi/argille e sabbie, con una quantità estremamente subordinata di ghiaie. L'ambiente deposizionale è di piana alluvionale con abbondante sviluppo d'aree topograficamente depresse di tipo palustre, colmate in seguito ad episodi di rotta fluviale.

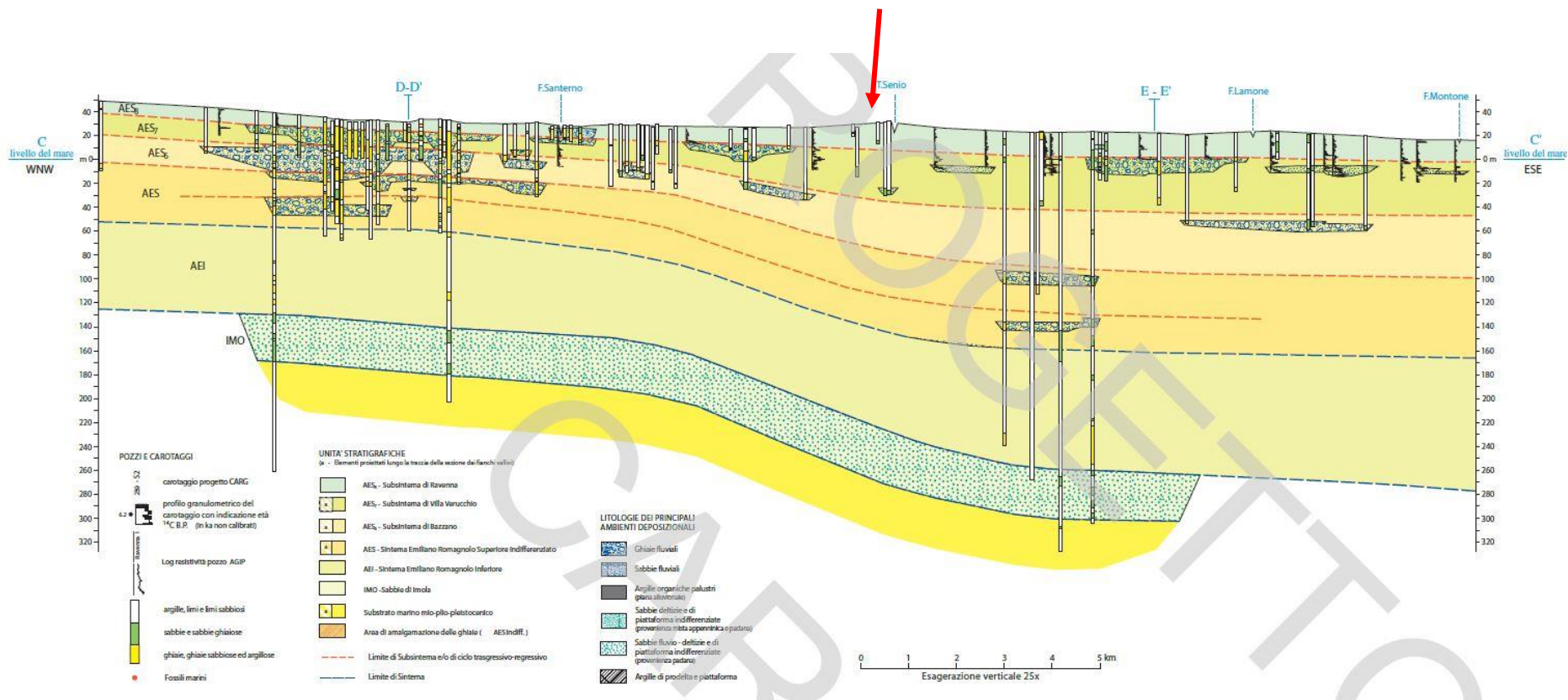


Figura 3 - Stratigrafia del Supersistema Emiliano-Romagnolo lungo una sezione parallela al margine appenninico (ISPRA, 2009).

La freccia rossa indica la proiezione sulla sezione del pozzo Armonia 1Dir.

Lo spessore di AEI diminuisce rapidamente verso il margine della pianura, a causa di fenomeni erosivi precedenti la messa in posto di AES e il sintema non è mai affiorante al margine appenninico. Nel sondaggio 239 - S1, realizzato in prossimità di Imola (ad Ovest del sito in esame), è riconoscibile in carota il contatto tra AEI e i sottostanti depositi litorali riferiti alle Sabbie di Imola, a una profondità di quasi - 140 m dal piano campagna, AEI presenta uno spessore complessivo di circa 65 metri. È da sottolineare il caratteristico colore grigio-verde dei limi e delle argille attribuiti a questa unità, che contrasta fortemente con il colore grigio-nocciola o giallo-bruno del sovrastante Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore. L'osservazione della porzione più settentrionale della sezione geologica riportata in Figura 2 mostra che in AEI sono presenti pure dei corpi sabbiosi spessi fino a una ventina di metri. Tali livelli sabbiosi, che non proseguono verso il margine appenninico, dove AEI è caratterizzato da depositi alluvionali decisamente fini, sono probabilmente di origine padana. L'età attribuita a AEI è, per posizione stratigrafica, il Pleistocene medio. In Regione Emilia-Romagna & ENI-AGIP (1998), l'unità è datata tra 350-450 ka e 650 ka.

2.1.1.2 Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore (AES)

Il Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore (AES) costituisce la porzione più recente del Supersintema Emiliano-Romagnolo e corrisponde ai depositi continentali affioranti nell'area in studio. Lo spessore di AES varia da pochi metri al margine appenninico fino a un massimo di 210 metri nel sottosuolo di Borgo Cotignola, in corrispondenza della zona depocentrale (Figura 2). Proseguendo verso Nord-Ovest, dove il margine del Bacino Padano, segnato dall'adiacente catena appenninica, è più vicino, lo spessore di AES è di circa 80-100 metri.

Nelle porzioni intravallive e di margine appenninico, l'unità è costituita da depositi terrazzati di piana alluvionale intravalliva che appoggiano in discordanza su depositi marini più antichi e localmente su AEI. Si tratta di ghiaie e sabbie di canale fluviale passanti ad alternanze di argille, limi e sabbie di piana inondabile variamente pedogenizzati. Il rilevamento geologico effettuato nell'ambito del progetto CARG ha permesso di suddividere AES in alcune unità stratigrafiche di rango inferiore (subsintemi), riconosciute nelle porzioni intravallive e lungo il margine appenninico emilianoromagnolo. I singoli subsintemi, correlabili su più aste fluviali, corrispondono a singoli terrazzi alluvionali o a insiemi di terrazzi alluvionali attribuibili a più ordini. Dei diversi subsintemi che compongono AES, AES₄, AES₅, AES₆ e AES₇ affiorano unicamente nel settore intravallivo e allo sbocco dei torrenti appenninici in pianura, mentre AES₈ affiora in tutta l'area di pianura (area d'intervento).

AES è caratterizzata al suo interno dall'alternanza ciclica, su spessori dell'ordine di 20-40 m, di pacchi di materiale fine (limi e argille, frequentemente torbose, e subordinate sabbie di piana inondabile) con depositi in cui la componente grossolana (definita principalmente da ghiaie di canale fluviale) è prevalente o comunque abbondante. Lo spessore dei corpi grossolani diminuisce in modo evidente sottocorrente, muovendosi da SW verso NE. Il caratteristico pattern radiale delle paleocorrenti e l'apertura a ventaglio in pianta dei corpi grossolani a partire dalla terminazione in pianura delle valli intramontane consente l'attribuzione della parte alta dei cicli a sistemi coalescenti di conoidi alluvionali dominate da processi fluviali (Amorosi et alii, 1997).

Per quanto riguarda i subsistemi sommitali (AES₈ e AES₇), il grande numero di sondaggi disponibili e, soprattutto, il controllo cronologico tramite datazioni al 14C, forniscono un quadro sufficientemente affidabile per la correlazione tra le porzioni affioranti e quelle sepolte. I subsistemi sottostanti possono essere correlati tentativamente, per posizione stratigrafica, ai complessi acquiferi A2-A4 di Regione Emilia-Romagna & ENI-AGIP (1998) (vedi capitoli successivi). L'età della base di AES è attribuita al Pleistocene medio (350-450 ka secondo Regione Emilia-Romagna & ENI-AGIP, 1998).

- *Subsistema di Ravenna (AES₈)*

Come predetto, in tutta l'area di pianura (area d'intervento) affiora il *Subsistema di Ravenna* (AES₈). È l'elemento sommitale del Sistema Emiliano-Romagnolo Superiore. Nei settori intravallivi e allo sbocco delle valli appenniniche il Subsistema di Ravenna è costituito da depositi di terrazzo alluvionale. I depositi di terrazzo sono generalmente costituiti da circa due metri di ghiaie, sovrastati da una copertura limoso-sabbiosa il cui profilo di alterazione pedogenetica può raggiungere circa un metro di spessore. In posizione più distale rispetto allo sbocco delle valli appenniniche, AES₈ affiora estesamente e la sua parte sommitale è costituita da depositi sabbioso-limosi, organizzati in corpi sedimentari di spessore plurimetrico a geometria prevalentemente nastriforme. Questi fanno transizione laterale a sedimenti prevalentemente argillosi e subordinatamente limosi e sabbiosi di piana inondabile (bacino interfluviale). I corpi ghiaiosi sono rari. Spessore massimo in pianura di 25 metri circa. Età: Pleistocene sup. - Olocene (14 ka - attuale; datazione C14).

- *Unità di Modena (AES_{8a})*

Al tetto di AES₈ è stata inoltre distinta e cartografata un'unità di rango inferiore denominata Unità di Modena (AES_{8a}). Il sito su cui sarà realizzato il pozzo esplorativo Armonia 1dir, è

caratterizzato dall'affioramento di tale unità. AES_{8a} è costituita da sabbie, limi e argille (con ghiaie molto subordinate) di pianura alluvionale; trattandosi di depositi molto recenti è caratteristica la preservazione delle morfologie deposizionali originarie. Il limite inferiore di AES_{8a}, datato al periodo post-romano, è definito al margine appenninico da una scarpata di terrazzo fluviale. In pianura corrisponde alla superficie di appoggio di depositi alluvionali al di sopra del suolo sviluppatosi in epoca romana. Il limite superiore dell'unità coincide col piano topografico ed è caratterizzato da un suolo calcareo con fronte di alterazione inferiore al metro e colore bruno olivastro e bruno grigiastro. Lo spessore massimo dell'unità è di 8-10 metri nel sottosuolo della pianura. Età: post-romana (IV-VI sec. d.C.-Attuale), definita su base archeologica.

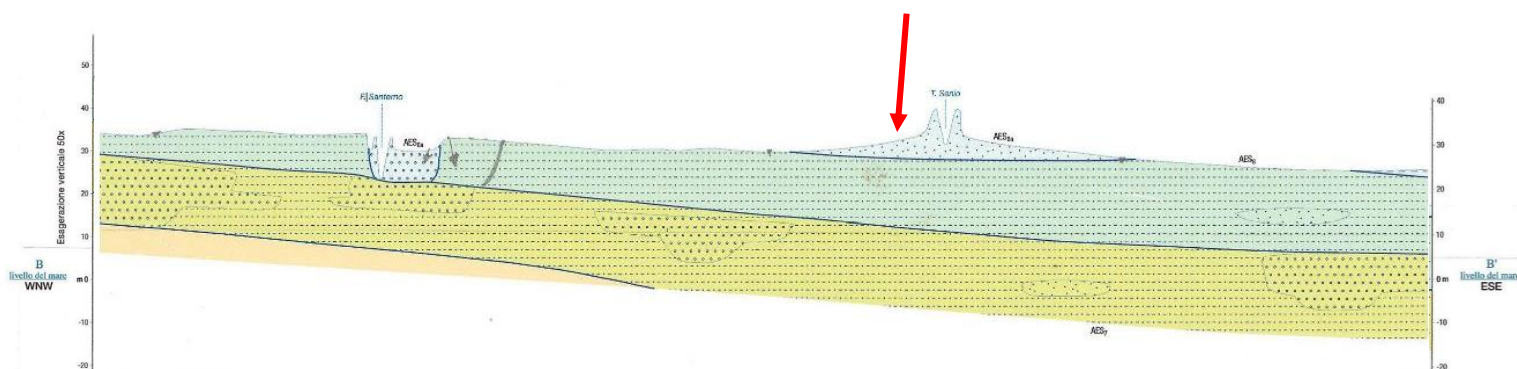


Figura 4 – sezione geologica parte sommitale Sinterma Emiliano Romagnolo (Carta Geologica d'Italia 1:50.000 - Foglio 239 Faenza, ISPRA 2008). La freccia rossa indica la proiezione sulla sezione del pozzo Armonia 1Dir.

2.2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO AREA D'INTERESSE

Come predetto, nell'area d'interesse, in corrispondenza del sito in cui sarà realizzato il pozzo esplorativo Armonia 1dir è cartografata l'Unità di Modena (AES_{8a}), costituita da sabbie, limi e argille (con ghiaie molto subordinate) di pianura alluvionale, per uno spessore di circa 10 m. Al di sotto, si trovano depositi attribuibili al Sinterma di Ravenna, costituiti nell'area prevalentemente da argille e subordinatamente da limi sabbiosi.

Queste caratteristiche litologiche e stratigrafiche sono state evidenziate, come precisato in seguito, nell'ambito dell'area d'intervento, sia dalle indagini geognostiche disponibili e raccolte nel database della Regione Emilia Romagna (prove pentrometriche e pozzi), che dalla campagna d'indagine sito specifica eseguita nel mese di ottobre 2015 in corrispondenza del sito di ricerca Armonia 1dir.

2.2.1 INDAGINI GEOGNOSTICHE - STRATIGRAFIA DI DETTAGLIO

2.2.1.1 Indagini Pregresse

Per una caratterizzazione litologica e stratigrafica dei terreni superficiali dell'area d'intervento è stato consultato il data base della Regione Emilia Romagna (<http://geo.regione.emilia-romagna.it/geocatalogo/>); sono state inoltre consultate le indagini di sottosuolo disponibili sul sito ISPRA, ma la ricerca non ha fornito risultati utili per la presente scala di approfondimento di studio.

Nella seguente tabella sono elencati i dati geognostici raccolti dalla banca dati della Regione Emilia Romagna, in un intorno significativo del pozzo Armonia 1dir; l'ubicazione è riportata in Figura 5.

| SIGLA | TIPOLOGIA | PROFONDITA' (m da p.c.) |
|--------------|-----------------------------------|--|
| P638 | Pozzo domestico | 70,00 |
| P639 | Pozzo irriguo agricolo | 220,00 |
| P640 | Pozzo irriguo agricolo | 300,00 |
| C054 | Prova penetrometrica statica CPT | 8,0 |
| C510 | Prova penetrometrica statica CPTU | 35,0 |

Tabella 1 – elenco dati geognostici geoportale Regione Emilia Romagna (<http://geo.regione.emilia-romagna.it/geocatalogo/>)

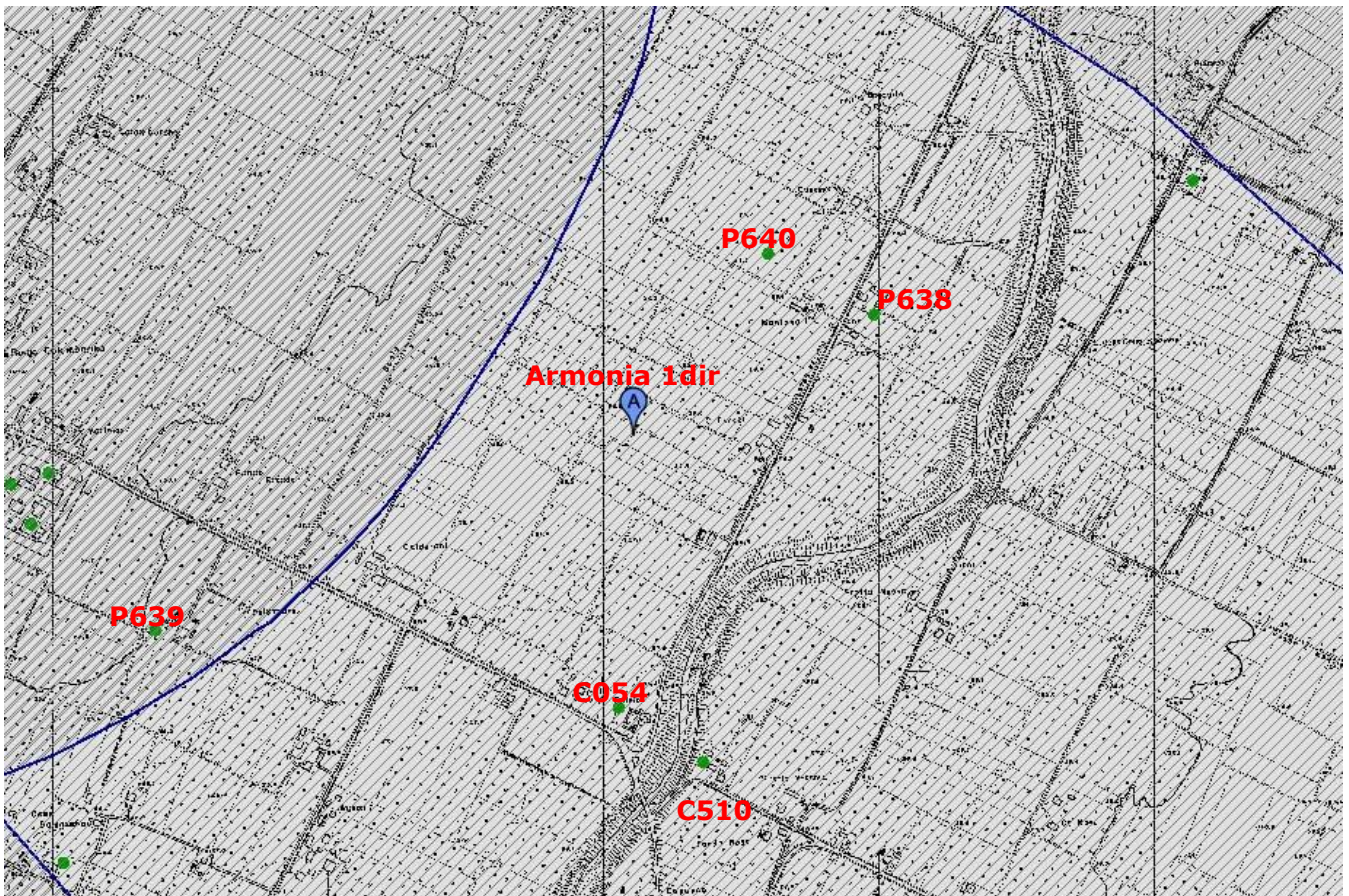


Figura 5 – Ubicazione indagini geognostiche disponibili (geoportale Regione Emilia Romagna – <http://geo.regione.emilia-romagna.it/geocatalogo/>)

2.2.1.2 Indagini in situ

Nel mese di ottobre 2015 è stata realizzata una campagna geognostica in corrispondenza dell'area in cui sarà realizzato il pozzo esplorativo Armonia 1dir. Tale indagine, che ha avuto la finalità primaria di ottenere una caratterizzazione fisico meccanico dei terreni superficiali per la definizione del modello geologico di sintesi, a supporto della relazione geotecnica e sismica (elaborato I.1) per le opere di superficie connesse alla perforazione, ha permesso di definire le caratteristiche stratigrafiche, litologiche ed idrogeologiche dei terreni superficiali.

La campagna geognostica ha compreso (vedi ubicazione in :

- Realizzazione di n° 1 prova penetrometrica statica CPT;
- Realizzazione di n° 1 prova penetrometrica con piezocono digitale CPTU;

- Esecuzione di indagine simica MASW.

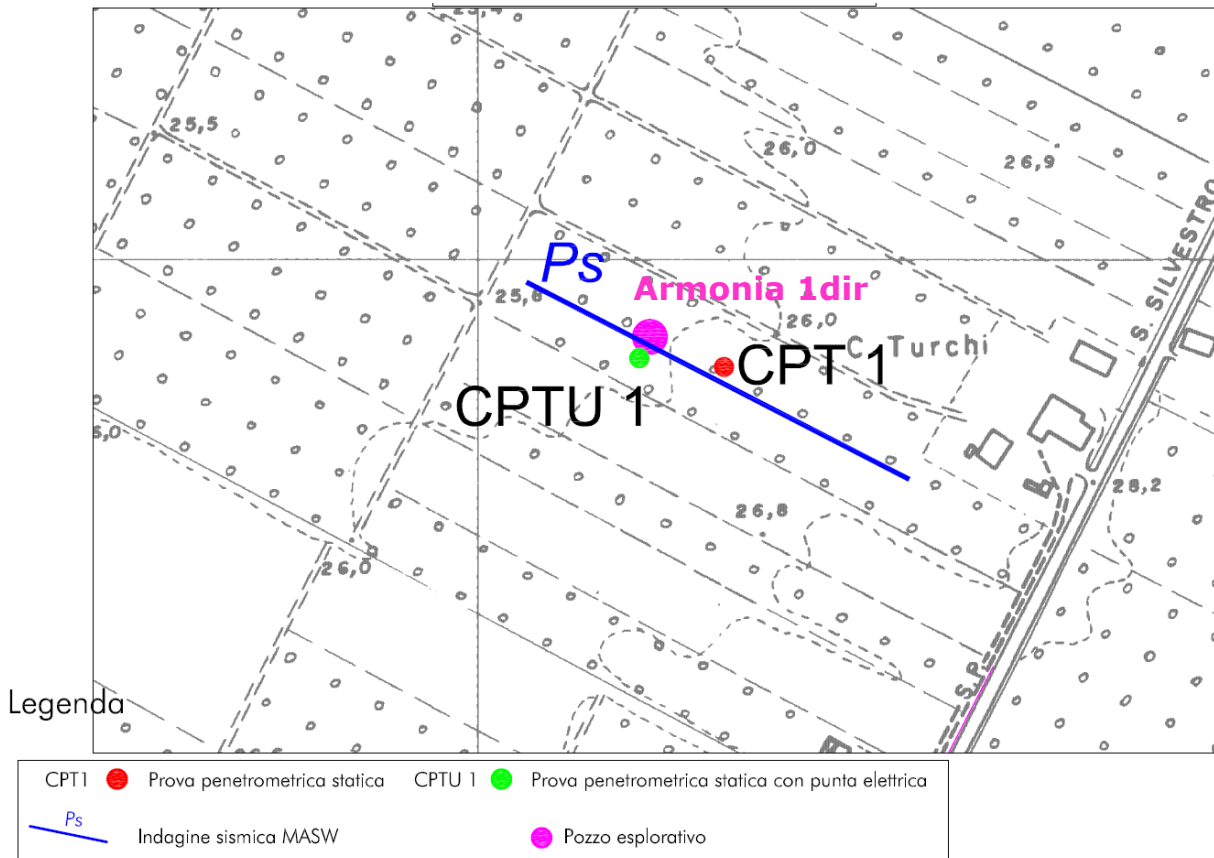


Figura 6 – ubicazione indagini geognostiche di dettaglio

L'apparecchio utilizzato per l'esecuzione delle prove penetrometriche statiche è un penetrometro statico da 20 tonnellate fornito di punta conica tipo "Begemann" per la CPT e dotato di punta elettrica digitale e piezocono per la CPTU. Nella CPT l'operazione eseguita staticamente consiste nell'infiggere nel terreno a mezzo di un martinetto idraulico le aste misurando ai manometri ogni 20 cm la resistenza alla penetrazione (q_c), l'attrito laterale locale (F_s), il rapporto di attrito (RF) e la pressione totale di spinta (Q_t). Elaborando le letture di campagna, è possibile risalire alle principali caratteristiche dei terreni attraversati. In particolare il rapporto di attrito fornisce una indicazione della granulometria e consente quindi di distinguere i terreni coesivi dai terreni incoerenti. La CPTU consente l'infissione nel terreno, a mezzo di un martinetto idraulico, della punta elettrica digitale, registrando ogni 2 cm la resistenza alla penetrazione, l'attrito laterale locale, il rapporto di attrito e le

sovrappressioni interstiziali. Elaborando le letture di campagna, è possibile risalire alle principali caratteristiche dei terreni attraversati (caratteristiche fisico meccaniche e pressione neutra). I fori penetrometrici CPT1 e CPTU1 sono stati spinti fino alle profondità rispettivamente di -15,80 m e -19,86 m da p.c. e sono stati attrezzati con tubo piezometrico per rilevare eventuali livelli acquiferi. I certificati delle prove penetrometriche sono riportati in allegato alla Relazione geologica, geotecnica e sismica (elaborato I.1).

L'analisi multicanale delle onde superficiali di Rayleigh tipo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) è una efficiente ed accreditata metodologia sismica per la determinazione delle velocità delle onde di taglio VS. Tale metodo utilizza le onde superficiali di Rayleigh registrate da una serie di geofoni lungo uno stendimento rettilineo e collegati ad un sismografo multicanale. Le onde superficiali di Rayleigh, durante la loro propagazione vengono registrate lungo lo stendimento di geofoni e vengono successivamente analizzate attraverso tecniche computazionali, basate su un approccio di riconoscimento di modelli multistrato di terreno. La metodologia per la realizzazione di un'indagine sismica MASW prevede 3 fasi fondamentali:

- acquisizioni multicanale dei segnali sismici, generati da una sorgente energizzante artificiale lungo uno stendimento rettilineo di sorgente-geofoni;
- estrazione del modo fondamentale dalla curva di dispersione (grafico velocità di fase rispetto alla frequenza) delle onde superficiali di Rayleigh;
- inversione delle curve di dispersione per ottenere profili verticali 1D delle Vs.

Per il presente intervento è stato realizzato uno stendimento sismico Ps1 di lunghezza di 48 m. Nel complesso la prospezione geofisica eseguita, per mezzo delle analisi della prova MASW, ha permesso di ricavare sia il modello medio di distribuzione della velocità delle onde "S" che il parametro Vs30 relativi al sottosuolo del sito indagato. La velocità media di propagazione delle Onde di taglio entro i primi 30 metri di profondità (Vs30) è calcolata con la seguente espressione: $Vs30 = 30/(hi/Vi)$. I profili MASW indicano una Vs30 media pari a 224 m/s (vedi allegato 4 alla Relazione geologica, geotecnica e sismica).

2.2.1.3 – Caratteristiche litologico-stratigrafiche dell'area d'intervento

Dall'analisi dei dati disponibili (banche dati esistenti ed indagini in situ) è stata effettuata una ricostruzione stratigrafica e litologica schematica dei depositi alluvionali nell'area d'intervento (vedi sezione stratigrafica schematica in Tavola I.4).

Le indagini hanno confermato la presenza di limi e limi argillosi prevalenti con livelli ed intercalazioni di limi sabbiosi e sabbie.

In particolare, le prove penetrometriche eseguite nella presente fase di studio indicano per la CPT1 la presenza, al di sotto dell'orizzonte superficiale di suolo/terreno rimaneggiato, di spessore di circa 0,80 m, di limi argillosi e limi sabbiosi da poco consistenti a mediamente consistenti, fino alla profondità di -6,60 m da p.c. attuale. Al di sotto di tale orizzonte, sono stati incontrati limi sabbiosi e sabbie limose mediamente addensate fino a -11,80 m da p.c.; procedendo in profondità, sono stati trovati limi argillosi e argille limose poco consistenti fino a -14,40 m da p.c., passanti limi sabbiosi e sabbie limose mediamente addensate fino alla massima profondità indagata di -15,80 m da p.c.. Nella prova penetrometrica con punta elettrica CPTU1, al di sotto dell'orizzonte superficiale di suolo/terreno rimaneggiato, di spessore di circa 0,60 m, sono stati incontrati limi argillosi e limi sabbiosi da poco consistenti a mediamente consistenti, fino alla profondità di -7,30 m da p.c. attuale. Al di sotto di tale orizzonte, sono stati incontrati limi sabbiosi e sabbie limose mediamente addensate fino a -11,70 m da p.c.; procedendo in profondità, sono stati trovati limi argillosi e argille limose poco consistenti fino a -13,50 m da p.c. e da tale profondità e fino a -14,50 m da p.c. sono stati trovati limi sabbiosi e sabbie limose mediamente addensate. Da tale profondità e fino alla massima profondità indagata di -19,86 m da p.c. attuale, sono stati trovati limi sabbiosi e sabbie limose mediamente addensate.

Le prove penetrometriche della banca dati regionale confermano la presenza di alternanze di limi argillosi e limi sabbiosi e sabbie nei metri superficiali. Le ghiaie non sono presenti.

Per quanto concerne le profondità più elevate, informazioni possono essere ricavate dalle stratigrafie dei 3 pozzi inseriti nella banca dati regionale, elencati nella Tabella 1.

In tutte le verticali d'indagine sembrano essere prevalenti i depositi di natura limoso argillosa, mentre rari livelli metrici di sabbie e sabbie limose sono riscontrati tra -67,0/-70,0 m in P638, tra -94,0/-96,0 m, tra -154,00/-160,0 e tra -204,0/-220 m da p.c. in P639. In P640, posto circa 325 m a Nord-est di Armonia 1dir, i depositi argillosi raggiungono la profondità di -224,0 m da p.c., mentre al di sotto si rilevano livelli metrici di ghiaie, intervallati sempre a depositi limoso argillosi (vedi schede in allegato 1).

Sulla base della successione stratigrafica riportata in Figura 2 e Figura 3, i livelli sabbiosi e ghiaiosi riscontrati in P639 e P640 rispettivamente a partire da circa -204 m e -224 m da

p.c. potrebbero appartenere all'unità delle Sabbie di Imola, che rappresenta la più recente tra le Unità Marine dell'Appennino Settentrionale (Plio-Pleistoceniche).

L'assenza di livelli ghiaiosi significativi nei depositi alluvionali superficiali, nell'area d'intervento, è confermata anche dalla "Carta del tetto delle ghiaie di AES₇ e AES₈" del Foglio 239 Faenza, sempre redatta da ISPRA nell'ambito del Progetto CARG (vedi estratto in Figura 7), nella quale si evince che l'area d'intervento è esterna ai domini dei depositi di conoide più grossolani .

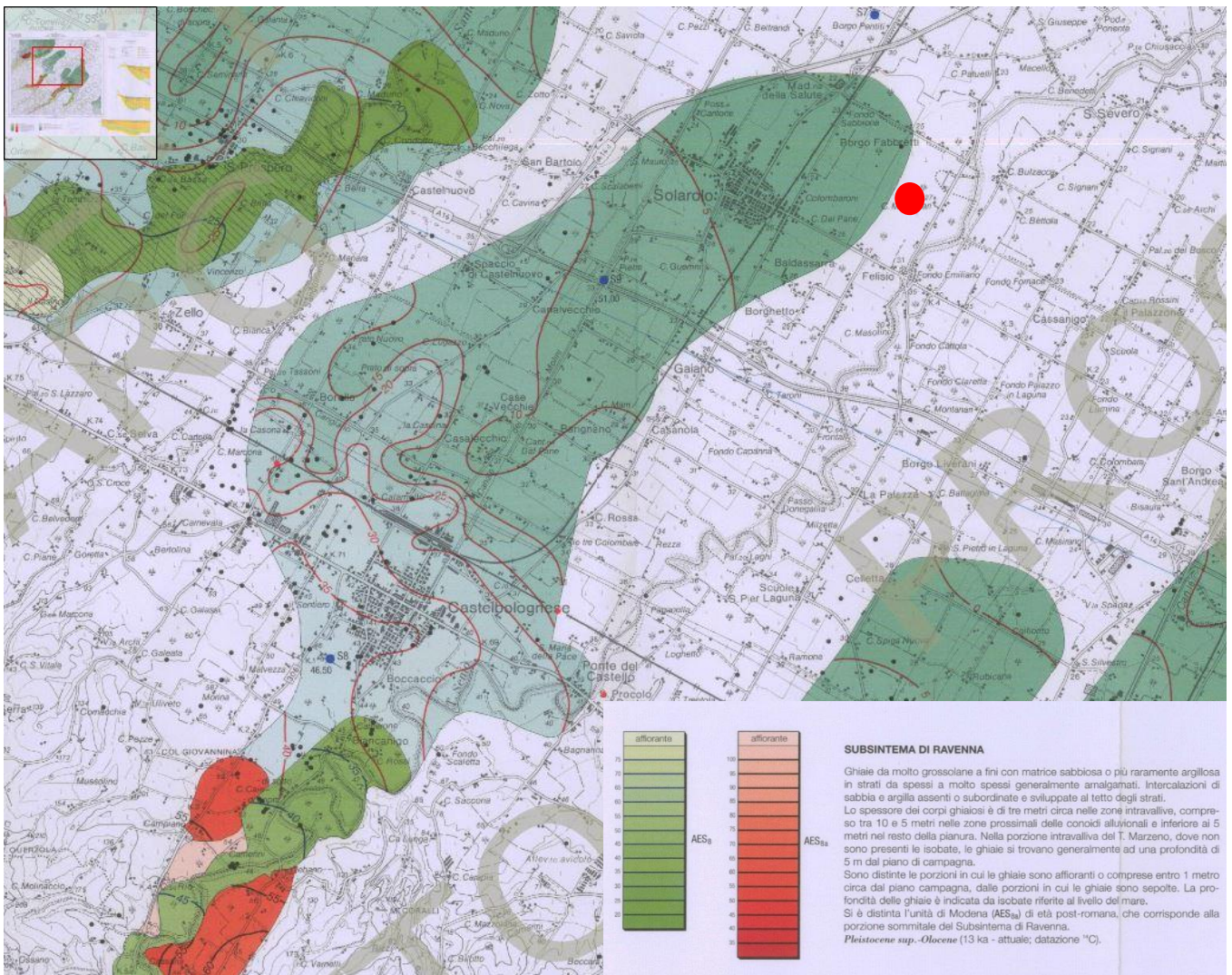


Figura 7 – Carta del tetto delle ghiaie di AES₇ e AES₈ - Foglio 239 Faenza (ISPRA, 2009). Il cerchio rosso indica la posizione del pozzo esplorativo Armonia 1dir:

3 Inquadramento idrogeologico

3.1 IDROGEOLOGIA DI AREA VASTA

Gli acquiferi della pianura emiliano – romagnola sono costituiti principalmente dai depositi di origine alluvionale, per uno spessore massimo di circa 400-500 m e, in minima parte, da depositi marino marginali. La distribuzione di questi corpi idrogeologici nel sottosuolo è schematicamente rappresentata nella sezione di Figura 8 che attraversa tutta la pianura da Sud a Nord, ovvero dal margine appenninico, che separa gli acquiferi montani da quelli di pianura, al Fiume Po.

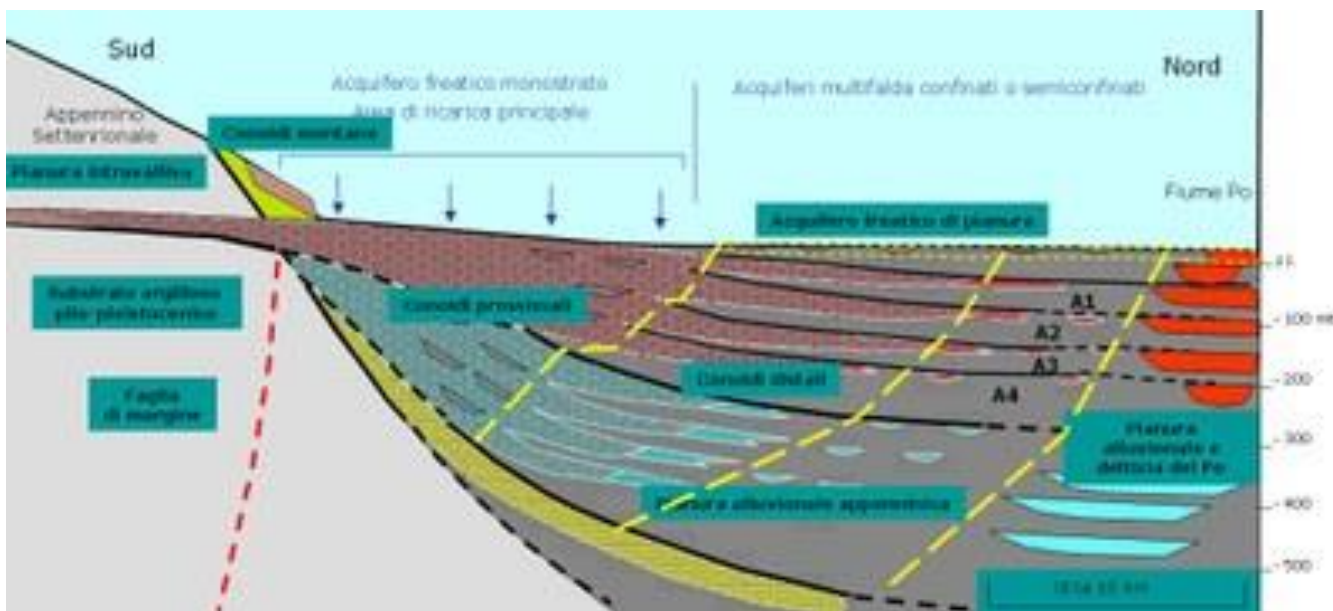


Figura 8 – Schema distribuzione corpi sedimentari (Regione Emilia Romagna)

Procedendo quindi dal margine verso nord, si trovano nell'ordine i seguenti complessi sedimentari: **le conoidi alluvionali, la pianura alluvionale appenninica e la pianura alluvionale e deltizia del Po.**

Per quanto riguarda le *conoidi alluvionali*, nella porzione più vicina al margine (conoidi prossimali o pedemontane), allo sbocco del fiume nella pianura, prevalgono le ghiaie grossolane e frequentemente affioranti, che proseguono nel sottosuolo con spessori anche di alcune centinaia di metri, mentre i depositi fini sono rari e discontinui; procedendo verso la pianura aumenta invece la presenza di depositi fini, che si alternano a quelli ghiaiosi (qui sepolti) in corpi tabulari molto estesi (conoidi distali).

Dal punto di vista idrogeologico le conoidi alluvionali, con i loro depositi molto permeabili e molto spessi, sono i principali acquiferi della pianura emiliano – romagnola. In particolare, le conoidi prossimali sono sede di un esteso acquifero freatico ricaricato direttamente dalle acque superficiali dei fiumi e dalle piogge, mentre le conoidi distali costituiscono un complesso sistema di acquiferi multistrato con falde confinate e semiconfinate. Le conoidi si possono differenziare sulla base del volume dei depositi grossolani in esse presenti, suddividendole in: conoidi maggiori, conoidi intermedie e conoidi minori.

La pianura alluvionale appenninica è caratterizzata da una pendenza topografica inferiore ed è formata dai sedimenti fini trasportati dai fiumi appenninici a distanze maggiori, costituiti da alternanze di limi più o meno argillosi, argille e sabbie limose. Essa inizia laddove i corpi ghiaiosi si chiudono e passano lateralmente a sabbie, presenti come singoli corpi nastriformi di pochi metri di spessore, che rappresentano i depositi di riempimento di canale e di argine prossimale. Talvolta si ritrovano degli orizzonti argillosi molto ricchi di sostanza organica che testimoniano il succedersi degli eventi di trasgressione marina che hanno interessato la zona costiera dell'Emilia-Romagna durante il Pleistocene e che costituiscono dei veri e propri livelli guida.

Dal punto di vista idrogeologico i rari e discontinui depositi sabbiosi della pianura alluvionale appenninica, costituiscono degli acquiferi di scarso interesse, anche perché la loro ricarica è decisamente scarsa e deriva unicamente dall'acqua che, infiltratasi nelle zone di ricarica delle conoidi, riesce molto lentamente a fluire sino alla pianura.

Procedendo verso nord si passa alla pianura alluvionale e deltizia del Fiume Po, costituita dall'alternanza di corpi sabbiosi molto estesi e sedimenti fini. Le sabbie derivano dalla sedimentazione del Fiume Po e sono presenti in strati amalgamati tra loro a formare livelli spessi anche alcune decine di metri ed estesi per svariati chilometri. Nella parte occidentale della Regione questi depositi hanno sempre un'origine alluvionale, mentre verso est rappresentano i diversi apparati deltizi che il Po ha sviluppato nel corso del Pleistocene. I sedimenti fini che si alternano a questi strati sabbiosi sono formati da limi più o meno argillosi, argille, sabbie limose e più raramente sabbie. Anche nella pianura alluvionale del Po sono presenti dei depositi argillosi ricchi in sostanza organica che fungono da livelli guida.

Dal punto di vista idrogeologico i depositi della pianura alluvionale e deltizia del Po costituiscono degli acquiferi confinati molto permeabili e molto estesi e dunque molto importanti. Il più superficiale di questi è in contatto diretto col fiume, da cui viene ricaricato,

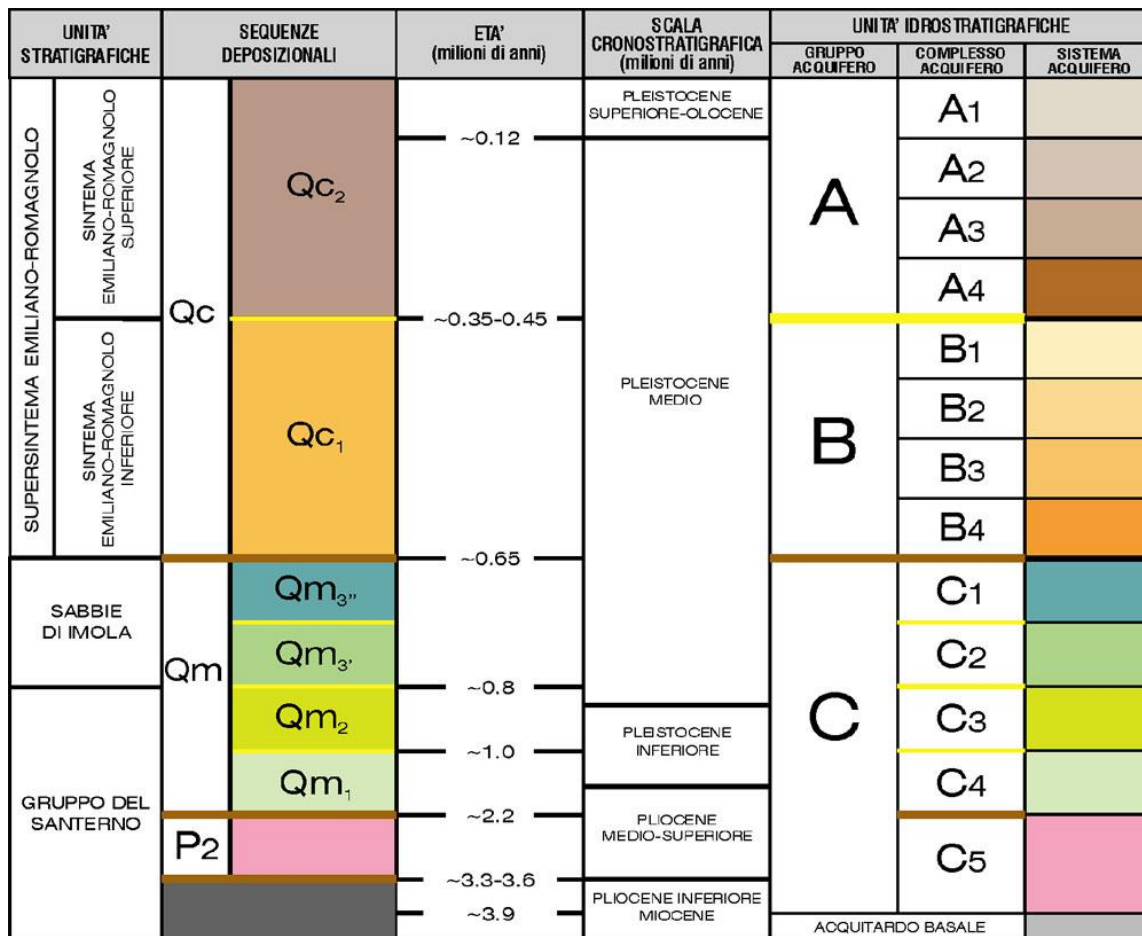
mentre quelli più profondi ricevono una ricarica remota che viene in parte dallo stesso Po (da zone esterne alla Regione Emilia-Romagna) e in parte dalle zone di ricarica appenniniche ed alpine, poste rispettivamente molto più a sud e a nord.

Al di sopra dei depositi descritti, fatto salvo per le conoidi prossimali dove le ghiaie sono affioranti, si trova l'acquifero freatico di pianura, un sottile livello di sedimenti prevalentemente fini che prosegue verso nord su tutta la pianura. Si tratta dei depositi di canale fluviale, argine e pianura inondabile in diretto contatto con i corsi d'acqua superficiali e con gli ecosistemi che da esse dipendono, oltre che con tutte le attività antropiche. Data la litologia prevalentemente fine e lo spessore modesto (nell'ordine dei 10 m), l'acquifero freatico di pianura riveste un ruolo molto marginale per quanto concerne la gestione della risorsa a scala regionale. E' invece molto sfruttato nei contesti rurali, dove numerosi pozzi a camicia lo sfruttano per scopi prevalentemente domestici.

Gli acquiferi presenti nelle zone intravallive sono i terrazzi alluvionali risultanti dall'azione erosiva dei corsi d'acqua, che generalmente hanno una topografia pianeggiante e sono costituiti da ghiaie e sabbie di canale fluviale, sovrastate da sottili spessori di materiali più fini pedogenizzati. Si tratta di acquiferi freatici molto sottili, alimentati dalle piogge locali, dai canali e dal drenaggio dei versanti adiacenti.

Tra gli acquiferi di pianura e quelli di montagna, si trova la zona del margine appenninico, formato da depositi ghiaiosi coperti da sedimenti fini pedogenizzati (conoidi montane) che, in una breve distanza verso la pianura, passano da spessori sottili a spessori anche molto considerevoli a formare le conoidi alluvionali precedentemente descritte. Al di sotto di questi depositi ghiaiosi si trovano le sabbie costiere attribuibili all'ultimo episodio della sedimentazione marina nell'Appennino e che proseguono fino alle porzioni più distali della pianura (Sabbie Gialle).

Con la pubblicazione del volume "Riserve Idriche Sotterranee della Regione Emilia-Romagna", pubblicato in collaborazione ad ENI-AGIP nel 1998 e la realizzazione del progetto di Cartografia Geologica d'Italia in scala 1:50.000 (progetto CARG), il Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia - Romagna ha proposto una nuova stratigrafia valida a livello di bacino per i depositi alluvionali e marino marginali presenti nelle prime centinaia di metri del sottosuolo, riassunta schematicamente nella Figura 9.



Superficie di discontinuità principale
 Superficie di discontinuità minore

Figura 9 – Schema stratigrafico ed idrogeologico della Pianura emiliana-romagnola
 (modificato da Regione Emilia Romagna & ENI AGIP, 1998)

I depositi della pianura sono stati suddivisi in tre nuove unità stratigrafiche, denominate Gruppi Acquiferi A, B e C: il Gruppo Acquifero A è il più recente ed ha un'età che va dall'Attuale sino a 350.000 – 450.000 anni; il Gruppo Acquifero B, intermedio, va da 350.000 – 450.000 anni sino a 650.000 circa; il Gruppo Acquifero C è il più vecchio e va da 650.000 sino a oltre 3 milioni di anni. Il Gruppo Acquifero A ed il Gruppo Acquifero B sono costituiti principalmente da depositi alluvionali ed in particolare dalle ghiaie delle conoidi alluvionali, dai depositi fini di piana alluvionale e dalle sabbie della piana del Fiume Po; il gruppo acquifero C è formato principalmente da depositi costieri e marino marginali ed è costituito principalmente 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.

Esiste una corrispondenza tra i Gruppi Acquiferi (definiti come Unità Idrostratigrafiche) e le Unità Stratigrafiche utilizzate nella Carta Geologica d'Italia. Nello specifico, il Gruppo Acquifero A corrisponde al Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore (AES), il Gruppo acquifero B al Sintema Emiliano-Romagnolo Inferiore (AEI), il Gruppo Acquifero C a diverse unità affioranti nell'Appennino, la più recente delle quali è la Formazione delle Sabbie Gialle di Imola (IMO).

Le Unità Idrostratigrafiche sono formate da una o più sequenze deposizionali caratterizzate da alternanze cicliche di depositi fini (alla base) e grossolani (al tetto) molto spessi. Una sequenza deposizionale è una successione di sedimenti geneticamente legati tra loro (sono depositi durante lo stesso intervallo di tempo e con meccanismi della sedimentazione legati tra loro), compresi alla base e al tetto da superfici di discontinuità della sedimentazione e da superfici di continuità ad esse correlate. All'interno di ciascuna sequenza, si trovano depositi costituiti da differenti litologie, corrispondenti a vari sistemi e ambienti deposizionali. Alla base di ciascuna sequenza si trova un livello molto continuo a scarsa permeabilità che funge da acquicludo tra le diverse unità individuate.

All'interno di ciascun Gruppo Acquifero vengono poi distinti diversi Complessi Acquiferi, unità gerarchicamente inferiori (a cui comunque corrisponde un'unità stratigrafica della Carta Geologica) identificate dal nome del Gruppo Acquifero di appartenenza, seguito da un numero progressivo (A0, A1 ecc.). Anche i Complessi Acquiferi sono Unità Idrostratigrafiche e come tali rappresentano una sequenza deposizionale contraddistinta da un acquitardo basale molto continuo, a cui fa seguito una sedimentazione più fine che diventa poi decisamente grossolana nella porzione terminale della sequenza.

Oltre che nello schema di Figura 9, la stratigrafia proposta è ben rappresentata nella Figura 10, dove è ben visibile la suddivisione nel sottosuolo dei diversi Gruppi Acquiferi e la rispettiva distinzione dei vari Complessi Acquiferi.

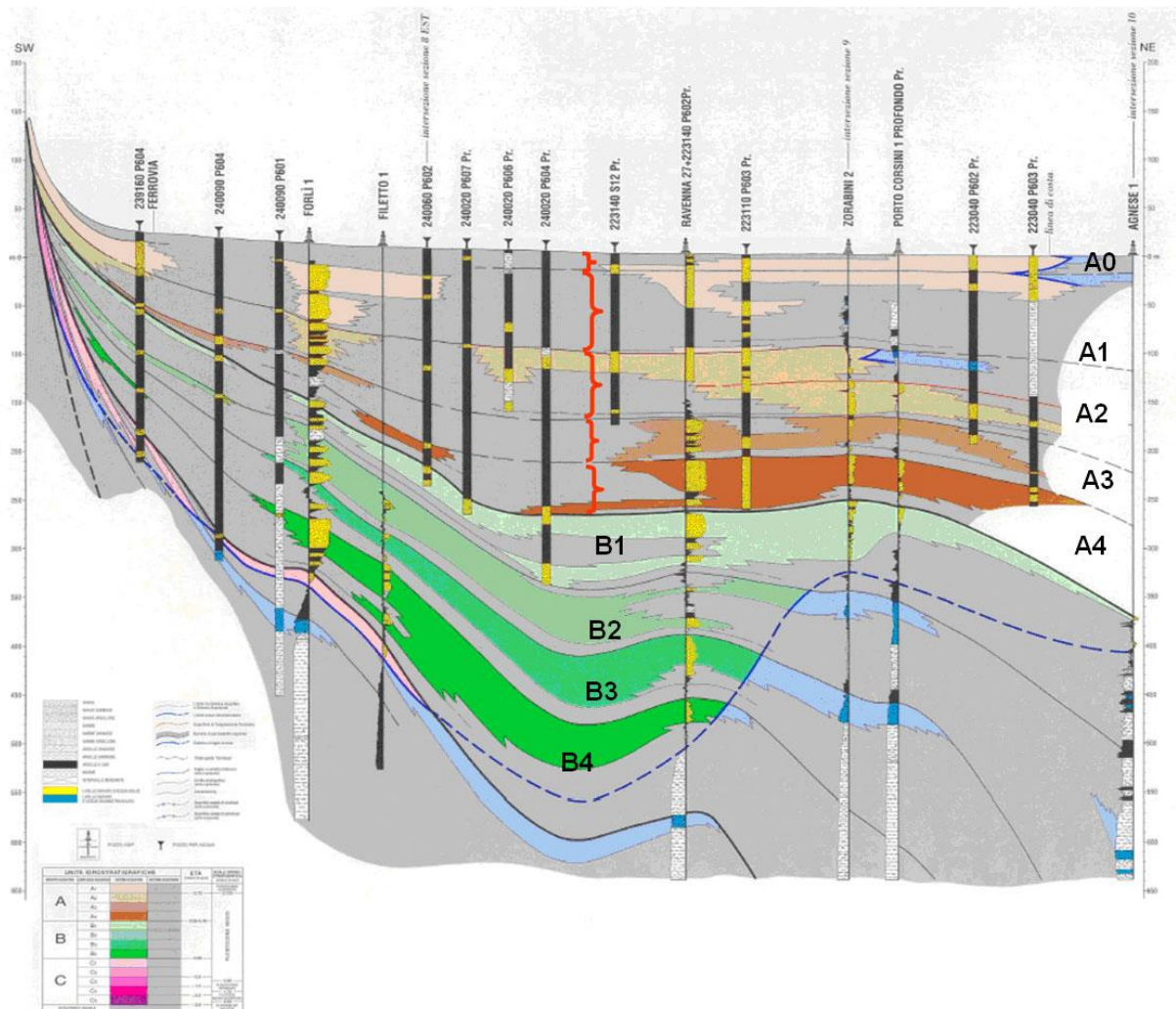


Figura 10 - Sezione geologica sottosuolo pianura emiliano-romagnola con distinzione delle principali unità idrostratigrafiche all'interno della successione sedimentaria del Quaternario (Regione Emilia Romagna & ENI AGIP, 1998). L'esagerazione verticale è di 50x.

3.2 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO DELL'AREA D'INTERESSE

Prendendo a riferimento il solo Gruppo Acquifero A, che comprende la porzione superficiale dei sedimenti che costituiscono il bacino padano, il sito su cui sarà realizzato il sondaggio esplorativo "Armonia 1Dir" è localizzato in corrispondenza del complesso idrogeologico della "pianura alluvionale appenninica", in prossimità del passaggio tra detti terreni ed i terreni appartenenti al complesso idrogeologico delle "conoidi alluvionali". In particolare, l'area in esame si trova in prossimità del margine di valle della conoide del Senio, definita come

“conoide alluvionale intermedia”, sulla quale sorge l’abitato di Solarolo, posto ad Ovest del sito di ricerca (Figura 11).

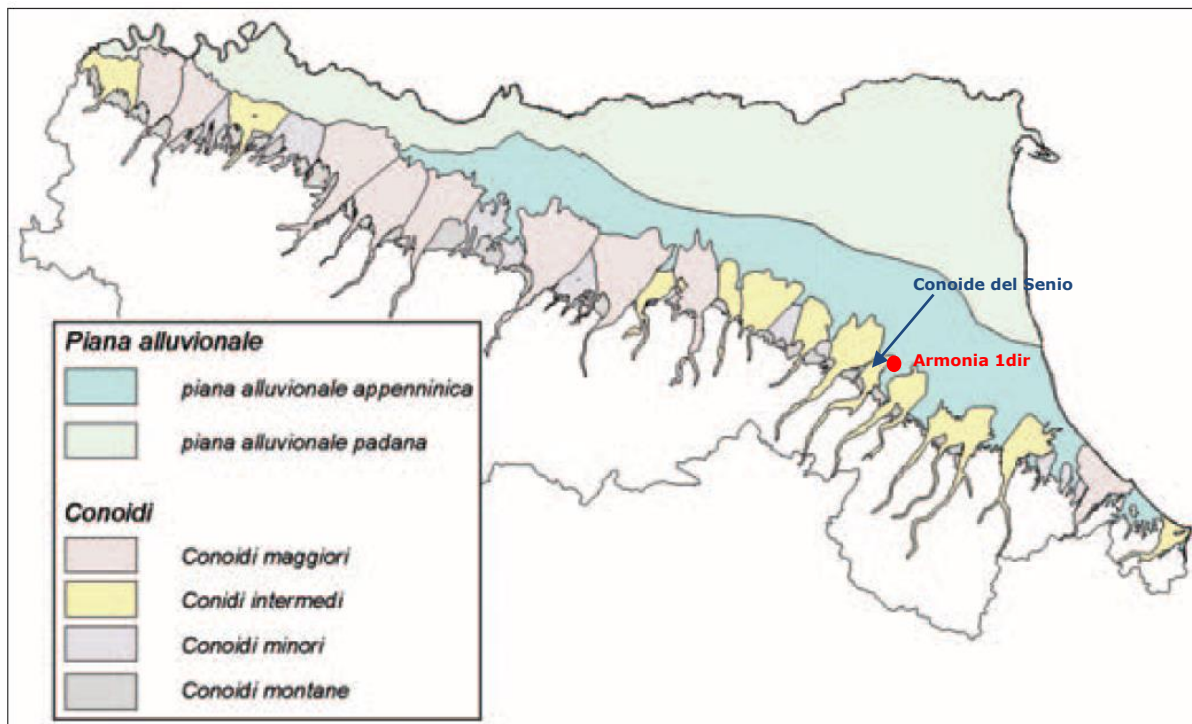


Figura 11 – distribuzione dei complessi sedimentari-idrogeologici (Regione Emilia Romagna – ARPA, 2003). Il cerchio rosso rappresenta l’ubicazione indicativa del sondaggio esplorativo Armonia 1dir.

Di seguito vengono pertanto descritti più in dettaglio gli aspetti geologici-idrogeologici dei complessi sedimentari-idrogeologici delle *conoidi alluvionali appenniniche* e della *pianura alluvionale appenninica*.

LE CONOIDI ALLUVIONALI APPENNINICHE

Come predetto, le conoidi appenniniche sono costituite da numerose alternanze di depositi grossolani e fini di spessore variabile che raggiungono anche diverse decine di metri, con una organizzazione interna ben riconosciuta che si può riassumere come segue:

- acquitardo basale - la porzione basale è costituita da alcuni metri di limi più o meno argillosi. I depositi fini basali sono caratterizzati da una grande continuità laterale;

- alternanza di depositi fini e grossolani - la porzione intermedia è composta da depositi fini dominati da limi alternati a sabbie e/o argille e comprendenti ghiaie, sia sotto forma di corpi isolati, sia sotto forma di corpi tabulari. Tale porzione è spessa alcune decine di metri;
- corpi tabulari grossolani - la porzione superiore di ogni alternanza è costituita da sedimenti ghiaiosi, amalgamati tra loro sia orizzontalmente che verticalmente, ed organizzati in potenti corpi tabulari. Lo spessore di questi depositi varia da circa 5 m fino ad alcune decine di metri e la loro continuità laterale può arrivare a 20–30 chilometri.

Nelle porzioni prossimali si formano corpi di ghiaie amalgamati tra loro senza soluzione di continuità, data l'assenza di acquitardi basali: pertanto i depositi ghiaiosi possono occupare ampie parti della superficie topografica e nella terza dimensione raggiungere spessori anche di molte decine di metri. Questi corpi di ghiaie amalgamati ed i lobi di conoide descritti in precedenza, sono sede dei principali acquiferi presenti in regione. All'interno delle valli appenniniche, a monte delle zone di amalgamazione, diminuisce bruscamente il volume delle ghiaie; le sole ghiaie presenti hanno spessori di pochi metri e costituiscono i depositi di terrazzo alluvionale.

Nelle conoidi intermedie, dal punto di vista geologico, oltre ad una riduzione delle dimensioni rispetto alle conoidi maggiori, si assiste ad alcune modifiche della struttura:

- un minore spessore e una minore continuità laterale dei corpi grossolani, decrescenti in modo più rapido a favore di un analogo aumento dei corpi fini;
- una minore presenza di depositi ghiaiosi tabulari, localizzati quasi esclusivamente nelle parti sommitali della ciclicità indicata;
- una zona di amalgamazione delle ghiaie generalmente poco potente e meno estesa rispetto ai conoidi maggiori.

Per quanto concerne le caratteristiche del **flusso idrico sotterraneo** si rileva che le zone apicali delle conoidi, dove per decine di metri sono presenti corpi ghiaiosi amalgamati, sono sede di un acquifero detto monostrato in condizioni di falda libera, caratterizzato da frequenti ed elevati scambi idrici falda–fiume, in cui il fiume rappresenta la fonte di alimentazione delle falde. La circolazione idrica è elevata, come testimoniato dall'età delle acque che si deduce dall'analisi isotopica (Piano di Tutela delle Acque della Regione Emilia-

Romagna: Attività B, 2002). In questo settore avviene la ricarica diretta delle falde dalle infiltrazioni efficaci, per dispersione dagli alvei principali e secondari; sono presenti flussi laterali provenienti dai settori delle conoidi minori e di conoide pedemontana. La circolazione si sviluppa all'interno dei corpi grossolani di conoide, isolati tra loro dai principali acquitardi, che costituiscono buone barriere di permeabilità. Procedendo verso valle i sedimenti fini si interpongono e separano tra loro i corpi ghiaiosi di conoide mentre in superficie seppelliscono le ghiaie più superficiali. Si costituisce pertanto un sistema acquifero detto multifalda, progressivamente compartimentato, caratterizzato da falda confinata e in alcune zone da falda libera, queste ultime collocate nelle porzioni di acquifero più superficiale. Lo scambio falda-fiume viene a limitarsi alle porzioni più superficiali, con alimentazione dal fiume alle falde. I livelli piezometrici tra lobi di conoide sovrapposti possono essere diversi tra loro anche di alcune decine di metri, come ad esempio nella conoide del Reno. Fenomeni di drenanza possono avvenire tra diverse parti dell'acquifero, in particolare in presenza di forti prelievi e in relazione a forti differenze di piezometria tra le diverse falde. I movimenti verticali tra falde si sviluppano in particolare nei settori caratterizzati da litologie limoso-sabbiose o nelle porzioni più prossimali, dove gli acquitardi hanno una minore continuità laterale. Sono stati rilevati gradienti idraulici delle falde pari al 7-12 per mille nelle zone apicali e intermedie delle conoidi, mentre valori pari a 2-3 per mille si rilevano per le zone intermedie e distali. Occorre infine considerare che la pressione antropica sui sistemi naturali descritti può portare ad una modifica non trascurabile di quanto sopra descritto, ovvero:

- la continuità laterale degli acquitardi può essere indebolita o interrotta dal grande numero di pozzi presenti nelle conoidi, i quali possono indurre un flusso idrico attraverso gli acquitardi stessi;
- la presenza di prelievi di vasta entità può causare modifiche anche rilevanti del quadro piezometrico, con richiamo verso i pozzi di masse idriche e linee di flusso concentriche dal raggio di diversi chilometri.

Nelle conoidi intermedie solitamente diminuisce la zona caratterizzata da acquifero monostrato e falda libera, mentre sussistono prevalenti condizioni di acquifero compartimentato in condizioni di falda confinata. La minore portata dei corsi d'acqua inoltre induce un minore scambio tra fiume e falda. La circolazione idrica può essere definita come mediamente elevata. Per quanto attiene i gradienti idraulici, si osservano valori simili a quanto indicato per le conoidi maggiori.

LA PIANURA ALLUVIONALE APPENNINICA

La struttura geologica della **pianura alluvionale appenninica** è caratterizzata dall'assenza di ghiaie e dominanza di depositi fini. Questo complesso si estende, indifferenziato al suo interno, a partire dalla pianura reggiana fino al limite orientale interponendosi tra i depositi grossolani delle conoidi appenniniche a sud ed i depositi padani a nord.

Come si può vedere nella Figura 11, nel settore romagnolo della pianura tale unità a volte si viene trovare a diretto contatto con il margine appenninico, interessando in questi casi zone comprese tra diverse conoidi alluvionali, costituendo l'interconoide tra due singole conoidi. Anche all'interno di questa unità sono riconoscibili alternanze cicliche ripetute più volte sulla verticale, generalmente organizzate al loro interno nel modo seguente:

- porzione inferiore costituita da limi argillosi di spessore decametrico e continui lateralmente per diversi chilometri;
- porzione intermedia costituita da depositi fini dominati da limi alternati a sabbie e/o argille in cui sono frequentemente presenti livelli argillosi;
- porzione superiore costituita da sabbie medie e grossolane, di spessore di alcuni metri, la loro continuità laterale è dell'ordine di qualche chilometro. Qui si concentra la maggior parte delle sabbie presenti in questi settori di pianura, che costituendone pertanto gli unici acquiferi sfruttabili.

Per quanto concerne le caratteristiche del flusso idrico sotterraneo, si rileva che il complesso idrogeologico della piana alluvionale appenninica si configura come un contenitore assai scadente in termini quantitativi. All'interno dei pochi corpi grossolani presenti la circolazione idrica è decisamente ridotta ed avviene in modo prevalentemente compartimentato. Non sono presenti fenomeni di ricarica né scambi tra le diverse falde o tra fiume e falda. Le acque presenti sono acque connate il cui ricambio è reso problematico dalla bassa permeabilità complessiva e dalla notevole distanza dalle aree di ricarica localizzate nel margine appenninico. Le falde sono tutte in condizioni confinate, in alcuni casi sono documentate falde salienti con livelli piezometrici superiori al piano campagna. Le piezometrie tra le diverse falde possono variare anche di alcuni metri, ciò tuttavia non induce fenomeni di drenanza tra le diverse falde, data la preponderante presenza di depositi fini. Dato che i depositi fluviali grossolani tendono a chiudersi passando sia lateralmente che sottocorrente a sedimenti più fini, poco permeabili, la velocità dei flussi nelle zone più distali

può essere anche irrisoria, specie se in assenza di prelievi. Pertanto i gradienti idraulici sono pari a 1-3 per mille.

Si riporta di seguito un sintesi delle caratteristiche geologiche, idrogeologiche e di qualità delle acque, tratta dalla Relazione Generale del Piano di Tutela delle Acque (Regione Emilia Romagna, 2005).

| | Caratteristiche geologiche | Caratteristiche quantitative | Caratteristiche qualitative |
|---|---|---|---|
| CONOIDI ALLUVIONALI APPENNINICHE | | | |
| conoidi maggiori | Nelle zone apicali: ghiaie affioranti ed amalgamate per spessori decametrici, ed estensione chilometrica. Più a valle: livelli di ghiaie estesi per decine di chilometri quadrati e spessi fino a 20 – 30 metri alternati a depositi fini. | Elevata circolazione idrica Marcato rapporto idrico da fiume a falda Scarsa compartimentazione del sistema acquifero nelle parti apicali Settori di falda libera e falde confinate più a valle | Contaminazioni puntuali / diffuse Composti azotati presenti (nitrati) in misura contenuta/abbondante Contaminanti di origine naturale |
| conoidi intermedie | Nelle zone apicali: ghiaie affioranti ed amalgamate per spessori ed estensione minori che al punto precedente. Più a valle: livelli di ghiaie meno estesi e meno spessi che al punto precedente, alternati a depositi fini. | Discreta circolazione idrica Rapporto idrico da fiume a falda non sempre evidente Compartimentazione del sistema acquifero anche marcata Settori prevalenti di falda confinata | Contaminazioni puntuali / diffuse Nitrati presenti generalmente in misura assai abbondante Debole presenza di contaminanti di origine naturale (ferro, manganese) |
| conoidi minori | Nelle zone apicali: ghiaie affioranti e amalgamate scarse o assenti. Più a valle: livelli di ghiaie alternati a depositi fini prevalenti. | Scarsa circolazione idrica Rapporto idrico da fiume a falda sostanzialmente poco rilevabile Compartimentazione del sistema acquifero Falda confinata | Contaminazioni diffuse Nitrati presenti generalmente in misura abbondante Presenza di contaminanti di origine naturale (ferro, manganese, ammoniaca) |
| conoidi distali | Livelli di ghiaie o sabbie presenti in corpi tabulari passanti sotto corrente a corpi isolati, alternati a prevalenti depositi fini. | Scarsa circolazione idrica Rapporto idrico da fiume a falda localizzato nella parti superficiali non connesse con le sottostanti Compartimentazione del sistema acquifero Falda confinata | Nitrati generalmente assenti Abbondante presenza di contaminanti di origine naturale (ferro, manganese, ammoniaca) |

| | | | |
|--|---|---|--|
| PIANURA ALLUVIONALE APPENNINICA | Dominanza di depositi fini, alternati a corpi sabbiosi isolati spessi pochi metri | Scarsa circolazione idrica Falda confinata | Abbondante presenza di contaminanti di origine naturale (ferro, ammoniaca arsenico) Nitriti assenti Assenza di contaminazioni di origine puntuale |
| PIANURA ALLUVIONALE E DELTIZIA PADANA | Livelli di sabbie di spessore decametrico ed estensione plurichilometrica, localmente amalgamati, generalmente alternati a depositi fini. | Scarsa circolazione idrica Rapporto idrico da fiume a falda visibile in relazione al Po Compartimentazione del sistema acquifero Falda confinata | Contaminazioni occasionali di origine puntuale Nitriti generalmente assenti Presenza di contaminanti di origine naturale (ferro, manganese, ammoniaca) |

Tabella 2 – Sintesi delle caratteristiche geologiche ed idrogeologiche dei Complessi Idrogeologici distinti all'interno del Gruppo Acquifero A (Regione Emilia Romagna - Relazione Generale Piano di Tutela delle Acque, 2005). Nei riquadri rossi i complessi idrogeologici di interesse per l'area in esame.

In ambito regionale, oltre alle unità idrostratigrafiche maggiori descritte in precedenza, è stata individuata al di sopra del complesso A1, una unità superficiale denominata A0. Questa unità è costituita da sedimenti del tardo Pleistocene e dell'Olocene che si sono depositati dopo l'ultima glaciazione.

3.3 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO SITO SPECIFICO

In sintesi, dal quadro sopra descritto si deduce che la circolazione idrica negli acquiferi superficiali della pianura alluvionale non è molto veloce e che la loro produttività idrica non è molto elevata. Si osserva inoltre che la parte maggiore dell'alimentazione della falda è laterale, in connessione con la rete di scolo e con i corsi d'acqua principali.

Come desunto dai dati disponibili (pozzi e prove penetrometriche da banca dati Regione Emilia Romagna – vedi Tabella 1) e dalle indagini eseguite in questa fase di studio, i sedimenti presenti sono soprattutto fini, limi e argille, caratterizzati da una scarsa o nulla permeabilità, alternati a lenti costituite da limi e sabbie, dove in ragione del maggior grado di permeabilità relativa, il deflusso idrico è maggiore. La geometria e i reciproci rapporti tra gli acquiferi sono di difficile definizione, possono trovarsi sia acquiferi confinati che non e contesti in cui le interdigitazioni tra depositi a differente grado di permeabilità relativa danno origine ad un'unica circolazione idrica sotterranea. Allo stesso modo le connessioni con la rete idrica superficiale dipendono dalla geometria e permeabilità dei depositi coinvolti.

I depositi alluvionali con le caratteristiche descritte sopra sono sovrapposti a depositi marini dell'olocene, prevalentemente sabbiosi. Questi depositi presentano caratteristiche più propriamente di acquifero sia per dimensioni che per caratteristiche idrodinamiche, i sovrastanti depositi alluvionali, nella porzione in esame, tengono confinato questo corpo acquifero, anche se come già esposto, non è esclusa la comunicazione o rapporti di drenanza con le lenti acquifere sovrastanti. Il corpo acquifero sabbioso continua verso est, al di fuori del territorio in esame, e nella fascia costiera diviene affiorante e la falda in esso contenuta è freatica.

Per quanto concerne l'idrogeologia di superficie è stata inoltre realizzata ex novo una Carta idrogeologica alla scala 1:2.000, con indicazione della permeabilità dei terreni (tavola I.2), redatta sulla base dei dati esistenti e degli approfondimenti d'indagine eseguiti in questa fase di studio. Per i terreni superficiali prevalentemente fini, limoso argillosi con lenti di sabbie e limi è stata indicata una "permeabilità media", di tipo primario per porosità, con coefficiente di permeabilità k compreso fra 10^{-4} e 10^{-7} m/s. Analogamente, in relazione a quanto indicato, è stata redatta una nuova Carta della Vulnerabilità degli acquiferi (Tavola I.3). Per l'acquifero freatico, contenuto nei depositi alluvionali superficiali, prevalentemente fini e con produttività idrica piuttosto scarsa, è stato indicato un grado di "vulnerabilità medio-basso".

3.3.1 CENSIMENTO POZZI E DATI PIEZOMETRICI

Come predetto, consultando la banca dati della Regione Emilia Romagna (<http://geo.regione.emilia-romagna.it/geocatalogo/>), è stato effettuato un censimento dei pozzi e dei dati geognostici esistenti, in un intorno significativo del sito in cui sarà realizzato il pozzo esplorativo Armonia 1dir.

In prossimità dell'area d'intervento sono stati individuati n. 3 pozzi per acqua, di varie profondità ed utilizzi. Si riportano nuovamente di seguito i dati riportati in tabella 1, indicando anche le profondità dei livelli piezometrici, se noti da banca dati, ed integrata con i dati delle indagini geognostiche eseguite in situ, con misura dei livelli piezometrici eseguita nell'ottobre 2015. L'ubicazione dei punti di misura è riportata nella Figura 5 e Figura 6.

| SIGLA | TIPOLOGIA | PROFONDITA' (m da p.c.) | Livello piezometrico (m da p.c.) |
|---------------------|-----------------------------------|--------------------------------|---|
| P638 | Pozzo domestico | 70,00 | -15,00 (livello statico) |
| P639 | Pozzo irriguo agricolo | 220,00 | -15,00 (livello statico) |
| P640 | Pozzo irriguo agricolo | 310,00 | n.d. |
| C054 | Prova penetrometrica statica CPT | 8,0 | n.d. |
| C510 | Prova penetrometrica statica CPTU | 35,0 | -1,50 |
| CPTU1 (2015) | Prova penetrometrica statica CPTU | 19,86 | -1,97 |
| CPT1 (2015) | Prova penetrometrica statica CPT | 15,80 | -1,97 |

Tabella 3 – elenco dati geognostici geoportale Regione Emilia Romagna (<http://geo.regione.emilia-romagna.it/geocatalogo/>)

Si ritiene che i livelli acquiferi registrati nelle prove penetrometriche siano riferibili all'acquifero freatico superficiale, di scarsa produttività e poco significativo ai fini del possibile sfruttamento per usi civili della risorsa idrica.

Tra i pozzi esistenti, anche se localizzati a maggiore distanza da Armonia 1dir e di scarsa significatività per la caratterizzazione idrogeologica sito specifica in quanto posti nell'unità idrostratigrafica della conoide intermedia del Senio, si segnalano inoltre tre pozzi che fanno parte della rete di monitoraggio acque sotterranee della Regione Emilia Romagna. La Regione Emilia Romagna è infatti dotata di una rete di monitoraggio delle acque sotterranee, che è stata progettata nel 1976, nell'ambito della predisposizione del Progetto di Piano per la salvaguardia e l'utilizzo ottimale delle risorse idriche (Regione Emilia-Romagna & Idroser, 1978), limitatamente al controllo della piezometria e della conducibilità elettrica specifica con una frequenza stagionale. Negli anni 1987-88 sono state estese le indagini alla componente qualitativa, venendo così a realizzarsi una prima rete di controllo "quali-quantitativo", dove i rilievi piezometrici ed i campionamenti dei parametri fisico-chimici e microbiologici vengono condotti da Arpa con la frequenza semestrale.

La rete di controllo è stata nel tempo sottoposta ad un processo di revisione/ottimizzazione, il cui principale obiettivo era quello di essere funzionale alla classificazione delle acque sotterranee in base a quanto contenuto nel D.Lgs. 152/99 e s.m.i. (Figura 12 e Figura 13).

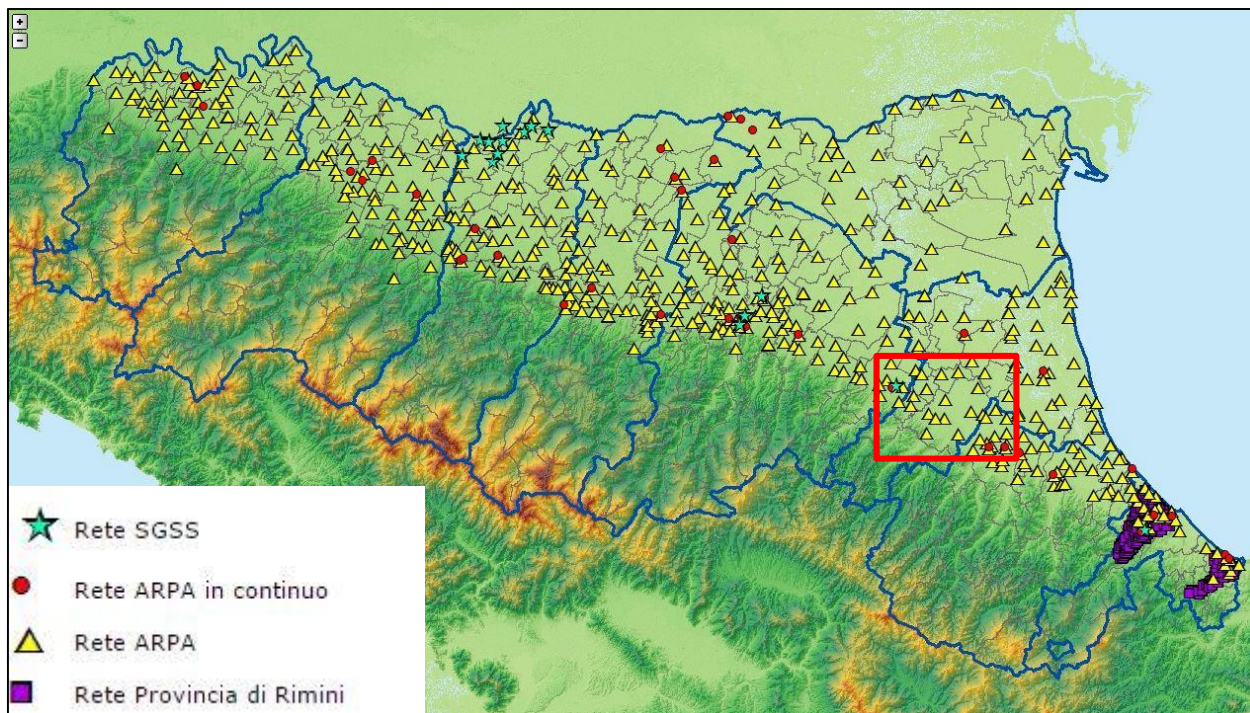


Figura 12 – Rete di monitoraggio acque sotterranee Regione Emilia Romagna - https://applicazioni.regione.emilia-romagna.it/cartografia_sgss/user/viewer.jsp?service=ewater. Il riquadro rosso rappresenta l'esploso in Figura 13.

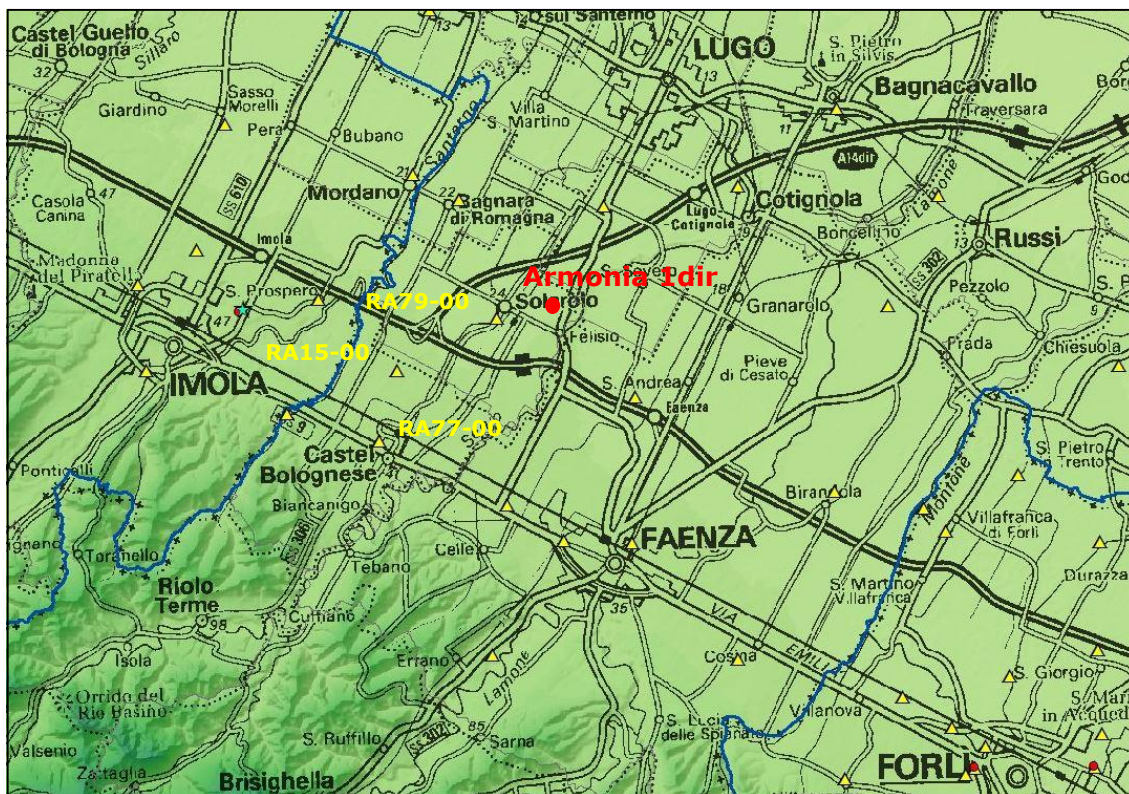


Figura 13 - Rete di monitoraggio acque sotterranee Regione Emilia Romagna in prossimità del sondaggio Armonia 1dir.

| SIGLA | TIPOLOGIA | PROFONDITA' (m da p.c.) | Variazione Livelli piezometrici (m da p.c.) 1988/2009 |
|----------------|-----------------------|------------------------------------|--|
| RA79-00 | Pozzo antincendio | 300,00 | -4,41/-13,40 |
| RA15-00 | Pozzo acquedottistico | 31,74 | -17,27/-29,66 |
| RA77-00 | Pozzo acquedottistico | 37,20 | 16,52/-26,79 |

Tabella 4 – elenco stazioni di misura Rete di monitoraggio acque sotterranee Regione Emilia Romagna in prossimità del sondaggio Armonia 1dir

4 Considerazioni conclusive

Il pozzo esplorativo Armonia 1 dir sarà realizzato in corrispondenza dell'unità idrostratigrafica della pianura alluvionale appenninica, al di fuori dei sistemi delle conoidi appenniniche. In sintesi, dagli approfondimenti eseguiti nell'area d'intervento, all'interno dei depositi quaternari prevalgono litologie fini, limi e argille con lenti di sabbie, mentre non sono attesi livelli ghiaiosi significativi. All'interno di tali terreni sono presenti sistemi acquiferi multifalda scarsamente produttivi e di scarso interesse ai fini dello sfruttamento della risorsa idropotabile. All'interno dei pochi corpi grossolani presenti la circolazione idrica è decisamente ridotta ed avviene in modo prevalentemente compartimentato. Non sono presenti fenomeni di ricarica né scambi tra le diverse falde o tra fiume e falda. Le piezometrie tra le diverse falde possono variare anche di alcuni metri, ciò tuttavia non induce fenomeni di drenanza tra le diverse falde, data la preponderante presenza di depositi fini. Dato che i depositi fluviali grossolani tendono a chiudersi passando sia lateralmente che sottocorrente a sedimenti più fini, poco permeabili, la velocità dei flussi nelle zone più distali può essere anche irrisoria, specie se in assenza di prelievi. Pertanto i gradienti idraulici sono pari a 1-3 per mille. Livelli produttivi sono individuati a partire dai sottostanti depositi sabbiosi marini pliocenici, con probabile lenti ghiaie, anche se di scarsa qualità per l'uso idropotabile.

Alla luce di quanto sopra indicato, si ritiene che il progetto di perforazione previsto sia tale da garantire ampiamente la salvaguardia degli acquiferi eventualmente attraversati durante la perforazione e sopra descritti. Nello specifico, il progetto prevede che il Conductor Pipe da 13" 3/8 (68 #) sia battuto prima dell'arrivo dell'impianto di perforazione in postazione, con una profondità di infissione presunta intorno ai 60 m, e pertanto non è previsto l'utilizzo di fanghi e additivi. Inoltre, sempre al fine di salvaguardare le acque di falda, con l'approfondimento del foro le pareti del pozzo verranno rivestite con colonne d'acciaio (casing) cementate alle pareti del foro stesso. Durante l'operazione di perforazione, ad intervalli di profondità prestabiliti, si procede al rivestimento del pozzo calando la colonna del casing e cementando l'intercapedine tra questa ed i terreni per mezzo di malta cementizia. Tale tipo di approccio progettuale consente quindi di eliminare ogni rischio potenziale di contaminazione o interferenza per falde e terreni ad opera sia dei fanghi di perforazione che dei fluidi di giacimento.

Sostanzialmente gli accorgimenti di sicurezza suddetti (previsti dal progetto di perforazione), consentono durante la perforazione di operare in piena sicurezza per step di

profondità progressiva e avampozzi cementati, in modo da proteggere e non interagire sia da un punto di vista quantitativo che qualitativo, con gli acquiferi eventualmente incontrati al di sopra dell'obiettivo minerario.

Per quanto concerne i livelli acquiferi superficiali, la realizzazione della cantina a protezione della testa pozzo, si configura come un normale intervento di attività edilizia in sotterraneo.

Ottobre, 2015

Dott. Geol. Alessandro Murratzu

Dott. Geol. Simone Fiaschi

5 Riferimenti Bibliografici

- Amorosi A. & Farina M. (1995) – Large-scale architecture of a thrust-related alluvial complex from subsurface data: the Quaternary succession of the Po Basin in the Bologna area (northern Italy). *Giornale di Geologia*, 57/1-2, 3-16.
- 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, 275-295.
- Amorosi A., Caporale L., Farina M., Preti D. & Severi P. (1997) - Late Quaternary sedimentation at the southern margin of the Po Basin (northern Italy). *Geologia Insubrica*, 2/2, 149-159.
- Amorosi A., Forlani L., Fusco F. & Severi P. (2001) - Cyclic patterns of facies and pollen associations from Late Quaternary deposits in the subsurface of Bologna. *GeoActa*, 1, 83-94.
- Amorosi A., Colalongo M.L., Fiorini F., Fusco F., Pasini G., Vaiani S.C. & Sarti G. (2004a) - Palaeogeographic and palaeoclimatic evolution of the Po Plain from 150-ky core records. *Global and Planetary Change*, 40, 55-78.
- Amorosi A. & Colalongo M.L (2005) - The linkage between alluvial and coeval nearshore marine successions: evidence from the Late Quaternary record of the Po River Plain, Italy. In: M.D. Blum, S.B. Marriott & S.F. Leclair (Eds.), *Fluvial Sedimentology VII*. Spec. Publs int. Ass. Sediment.35, 257-275.
- ARPA (2013) – Relazione di sintesi sulla qualità delle acque superficiali e sotterranee della provincial di Ravenna – Anni 200-2011.
- ARPA (2015) – Monitoraggio delle acque in Provincia di Ravenna – Risultati 2013.
- Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000, Foglio 221 – Bologna (in stampa). ISPRA – Servizio Geologico d'Italia - Regione Emilia-Romagna.
- Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000, Foglio 239 – Faenza (2009). ISPRA – Servizio Geologico d'Italia - Regione Emilia-Romagna.

- Idroser s.p.a., Regione Emilia Romagna (1978) – Progetto di Piano per la salvaguardia e l'utilizzo ottimale delle risorse idriche in Emilia-Romagna, Bologna.
- Ricci Lucchi F., Colalongo M.F., Cremonnini 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 (a cura di) "Guida alla geologia del margine appenninico-padano", Guide Geol. Reg. della S.G.I., pp.17-46.
- Regione Emilia-Romagna & ENI-AGIP (1998) – Riserve idriche sotterranee della Regione Emilia-Romagna. A cura di G. Di Dio. S.El.CA., Firenze, 120 p.
- Regione Emilia-Romagna & ARPA (2003) – Le caratteristiche degli acquiferi della Regione Emilia-Romagna, Report 2003.
- 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).
- Regione Emilia-Romagna (2005) – Piano di Tutela delle acque – Relazione generale.

Siti internet:

- <http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/geologia/temi/acque/idrogeologia-della-pianura-emiliano-romagnola>
- https://applicazioni.regione.emilia-romagna.it/cartografia_sgss/user/viewer.jsp?service=ewater
- <http://geo.regione.emilia-romagna.it/geocatalogo/>