

Regione
Emilia Romagna



Provincia di
Ferrara



Comune di
Bondeno



IMPIANTO AGROVOLTAICO DI 60MW SITO NEL COMUNE DI BONDENO (FE) E RELATIVE OPERE CONNESSE

PROGETTISTA INCARICATO:
Ing. Riccardo Clementi
Pec: riccardo.clementi@ingpec.eu



Scala

n.d.

Titolo elaborato:

**RELAZIONE
IDROGEOLOGICA**

Formato

A4

TECNICI COINVOLTI

Ing. Riccardo Clementi
Arch. Emiliano Manzato
Dott. Agr. Stefano Pesavento
Dott. Geol. Loris Tietto



CODICE ELABORATO

PROGETTO	CLASSE	TIPO	PROG.
RVFVER32	VIA2	R	31

Rev.	Data	Descrizione	Redige	Verifica	Approva
00	02/23	Prima emissione	EM	EM	EM
01					
02					
03					
04					
05					
06					

GESTORE RETE ELETTRICA



SOCIETA' PROPONENTE:

Bondeno SRL
Via Mike Bongiorno, 13 - 20124 Milano
PEC: bondeno@pec-legal.it
REA: MI - 2677347
P.iva 05496160283

SOCIETA' di PROGETTAZIONE:

Renvalue SRL
Via Quattro Novembre, 2 Padova
PEC: cert@pec.renvalue.it



Indice

1	PREMESSA.....	2
2	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	4
3	DEFINIZIONE TERRITORIALE	5
3.1	Inquadramento geologico generale	5
3.2	Inquadramento geologico e geomorfologico locale.....	7
3.3	Inquadramento idrogeologico.....	10
4	INDAGINI IN SITO	12
4.1	Planimetria dell'intervento.....	12
4.2	Installazione piezometri a tubo aperto	13
5	RISULTATI DELLE INDAGINI ESEGUITE	14
5.1	Soggiacenza e direzione della Falda	14

1 PREMESSA

Per incarico della committenza è stata eseguita un'indagine per la caratterizzazione idrogeologica delle aree interessata da un progetto di realizzazione di un parco agrolvoltaico. I siti di interesse sono ubicati lungo la SP9 e in Via Suore nel comune di Bondeno (FE) (Figura 1 – Figura 2).



Figura 1 – Estratto di CTR con ubicazione delle aree oggetto di intervento



Figura 2 – Immagine satellitare con ubicazione delle aree oggetto di intervento (Google Earth)

Per la caratterizzazione del sottosuolo sono state eseguite le seguenti indagini:

- n°25 prove penetrometriche statiche (CPT), denominate da CPT1 a CPT25, di cui n°11 spinte fino alla profondità di -10,0 m dal p.c. e n°14 spinte fino alla profondità di -20,0 m dal p.c.. Al termine delle prove è stato installato all'interno del foro di indagine un piezometro da 0,5" per misurare il livello dell'acqua in foro.
- n°8 sondaggi a carotaggio continuo, denominati da S1 a S8, spinti fino alla profondità di -10,0 m dal p.c., con posa di piezometro da 3" in PVC con installazione di tubo cieco da 0,0 a 3,0 m e tubo microfessurato da 3,0 a 10,0 m;
- n°24 prove dinamiche in foro di sondaggio (SPT);
- n°4 indagini geofisiche di sismica attiva multicanale (MASW) con analisi della componente verticale delle onde di Rayleigh.

Le modalità di esecuzione delle indagini sono descritte in seguito, mentre la loro ubicazione è riportata nella planimetria di Figura 9.

2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

La normativa di interesse specifico per la presente relazione è la seguente:

- D.M. 17/01/2018 “Aggiornamento Norme Tecniche per le Costruzioni” (NTC 2018);
- Circ. Min. 21/01/2019 “Istruzioni per l’applicazione dell’Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni”;
- D.M. 14/01/2008 “Norme Tecniche per le Costruzioni” (NTC 2008);
- Circ. Min. 02/02/2009 “Istruzioni per l’applicazione delle norme tecniche”;
- O.P.C.M. 3274/2003 e succ. modd.;
- O.P.C.M. 3519/2006;
- "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione" – *D.M. 11/03/1988*;
- Istruzioni applicative al D.M. 11.03.88 – *Circ. Min. LL.PP. 24.09.88 n° 30483*;
- "Raccomandazioni A.G.I. riguardanti l’esecuzione e programmazione delle indagini geotecniche" – A.G.I. 1977.

3 DEFINIZIONE TERRITORIALE

3.1 Inquadramento geologico generale

Il territorio di Bondeno si trova all'interno della Pianura Padana e, più precisamente, si sviluppa sulla riva destra idrografica del Fiume Po.

La Pianura Padana è un bacino sedimentario compreso tra l'Appennino Settentrionale e le Alpi Meridionali in cui i sedimenti più recenti ricoprono un assetto strutturale e sedimentario complesso. Dal Cretaceo la regione padana è stata soggetta a fasi alterne di compressione e stasi tettoniche, instaurate dalle interazioni tra la microplacca dell'Arco Appenninico Settentrionale e la microplacca Adriatica. Solamente durante il Miocene si venne a delineare, a nord e ad est degli accavallamenti e duplicazioni crostali in corso di strutturazione relativi alla formazione della neo catena Appenninica, il bacino perisuturale padano – adriatico. All'inizio del Pliocene la parte di bacino, oggi nota come pianura padana, costituiva un grande golfo invaso dalle acque marine, limitato a nord dalle Alpi, a sud-ovest dagli Appennini e a nord-est dalle Dinaridi. Tale bacino, sotto l'azione delle spinte orogenetiche, venne gradualmente ridotto dalla traslazione verso nord/nord-est dalle falde di ricoprimento tettonico dell'Appennino settentrionale. Nell'epoca quaternaria, successivamente al Pleistocene medio, la crescente estensione di terre emerse e soggette ad erosione consentì ai corsi d'acqua alpini ed appenninici di colmare di sedimenti il bacino padano conferendone l'attuale assetto e morfologia.

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

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

Le pieghe appenniniche si suddividono in tre archi principali: "Arco del Monferrato" che si estende da Torino a Tortona, "Arco delle pieghe emiliane" che si estende dall'Appennino Vogherese a San Colombano e a sud sino alla linea del Sillaro e "Arco delle pieghe ferraresi e romagnole" ubicate nella parte nord-est dell'Appennino emiliano orientale.

Dalla Carta Tettonica dell'Appennino settentrionale e della Pianura Padana (Figura 3) si evince che il sito in esame ricade nell'area dell'Arco delle Pieghe Ferraresi e Romagnole.

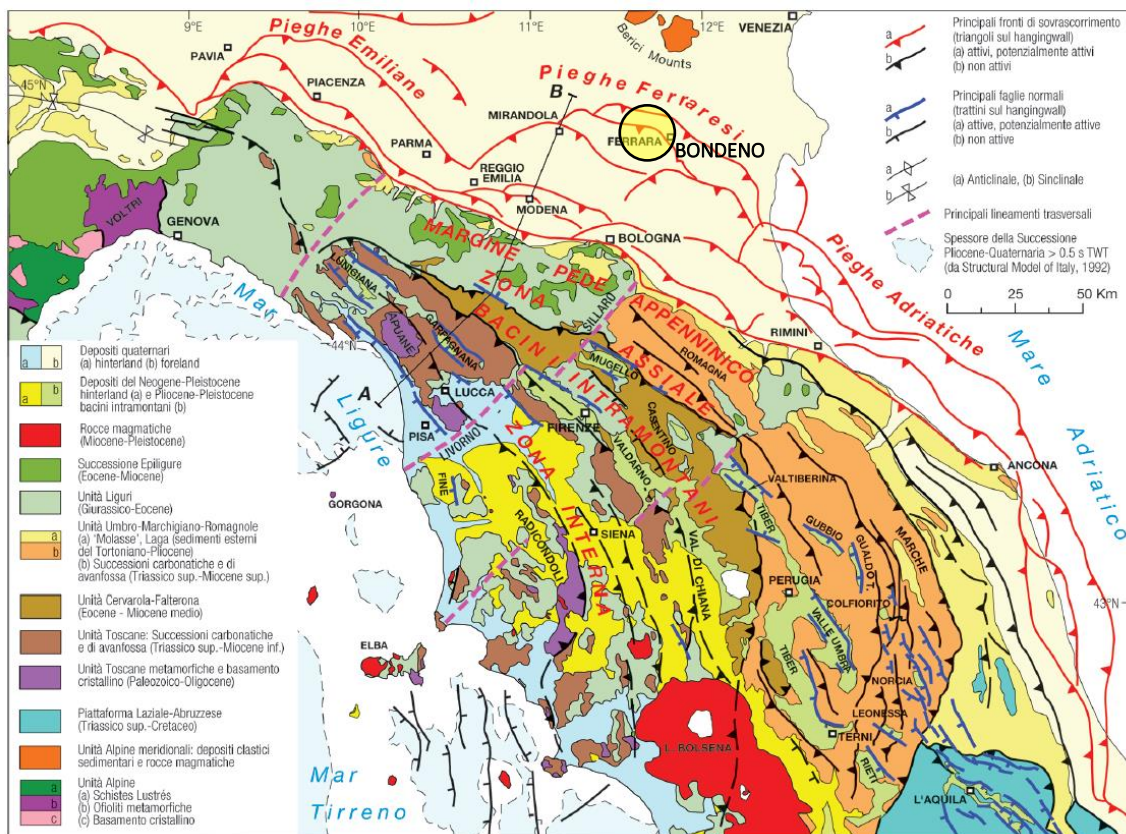


Figura 3 – Schema tettonico dell'Appennino settentrionale e della Pianura Padana (da: "Note illustrative della Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna ed aree limitrofe" – Servizio Geologico Sismico e dei Suoli – Regione Emilia-Romagna – 2017)

L'Arco ferrarese-romagnolo è l'elemento strutturale più esterno dell'Appennino settentrionale ed è costituito da tre gruppi minori di pieghe: ferraresi, romagnole e adriatiche.

L'unità dominante delle pieghe ferraresi è la "Dorsale Ferrarese", costituita da pieghe, pieghe-faglie e faglie con orientamento WNW-ESE, la quale già nel Pliocene aveva funzione di alto strutturale. La Dorsale Ferrarese è localizzata nell'area centro-occidentale della provincia ferrarese tra Ferrara e le Valli di Comacchio; le sue culminazioni principali sono costituite dalle anticlinali di Ficarolo, di Poggio Rusco, di Mirandola e di Novi-Correggio.

La peculiarità di questo sistema di pieghe è che costituiscono un alto strutturale del substrato calcareo mesozoico, con riduzione o assenza dei sovrastanti sedimenti terziari, asportati dall'azione dei processi erosivi legati all'emersione dell'area durante il Pleistocene medio. La struttura è disposta secondo la direzione WNW-ESE lungo una linea passante fra Bondeno e Poggio Rusco dove la profondità della base del Pliocene varia tra i 400 e i 600 m.

Dal punto di vista litologico, il riempimento del bacino padano è costituito da una successione di depositi a carattere regressivo, con alla base sabbie e peliti torbiditiche seguite da un prisma sedimentario fluvio-deltizio progradante, ricoperto al tetto da depositi continentali.

I depositi quaternari del margine appenninico padano e dell'antistante pianura derivano dalla complessa relazione fra il fiume Po a nord, i fiumi appenninici a sud ed il Mare Adriatico ad est. Nell'ambito di tali depositi sono state riconosciute due sequenze principali (Supersintemi) denominate come segue:

- Supersistema del Quaternario Marino;
- Supersistema Emiliano-Romagnolo.

Il Supersistema Quaternario Marino, sedimentato tra il Pliocene superiore e il Pleistocene inferiore, risulta costituito da terreni paralici e marini.

Il Supersistema Emiliano – Romagnolo, depositosi a partire da circa 650.000 anni b.p. sino all'Olocene, giace in discordanza sul Supersistema Quaternario Marino. Esso è costituito da terreni continentali e può essere suddiviso in due unità principali: una unità inferiore, detta "Sistema Emiliano-Romagnolo Inferiore" ed un'unità superiore detta "Sistema Emiliano-Romagnolo Superiore".

3.2 Inquadramento geologico e geomorfologico locale

Il territorio di Bondeno ricade nell'area dell'Alto Ferrarese, caratterizzata dalla totale collocazione in pianura e con altitudini comprese tra un massimo di 23,35 m s.l.m. (nel comune di Cento) ed un minimo di 4,4 m s.l.m..

I depositi affioranti nel territorio comunale appartengono al Sistema Emiliano-Romagnolo Superiore e rappresentano depositi di piana alluvionale. In particolare, sedimenti argilloso-limosi sono prevalenti e ricoprono quasi completamente la porzione occidentale e sud occidentale del territorio comunale, dove però sono presenti in abbondanza anche miscele ternarie di argilla-limo-sabbia; sedimenti argilloso-sabbiosi caratterizzano l'area compresa tra l'abitato di Bondeno ed il margine nord orientale del territorio comunale; sedimenti limosi sono presenti nella porzione centro settentrionale del territorio.

Dalla Carta delle Litologie del Piano Strutturale Associato di Bondeno (Figura 4) emerge che:

- l'area 1 presenta terreni prevalentemente argilloso-limosi, eccetto una fascia centrale caratterizzata da terreni argilloso-sabbiosi;
- l'area 2 è caratterizzata da terreni argilloso-limosi, eccetto nell'angolo nord-ovest caratterizzato da terreni argilloso-sabbiosi e nell'angolo sud-est caratterizzato da terreni sabbiosi-argillosi;
- l'area 3 è caratterizzata da terreni argilloso-limosi-sabbiosi, eccetto nell'angolo sud-ovest dove sono presenti terreni sabbiosi-argillosi.



Figura 4 – Estratto della Carta delle Litologie di Superficie del Piano Strutturale Associato di Bondeno

Dal punto di vista geomorfologico, le principali strutture che caratterizzano il territorio comunale sono i paleoalvei. Queste strutture corrispondono ad antichi decorsi fluviali, pensili rispetto alla pianura e che sono riconducibili alle principali direttrici dei corsi d'acqua. Strutturalmente un paleoalveo evidenzia nella maggior parte dei casi, una parte centrale caratterizzata da depositi sabbiosi propri di alveo attivo e, lateralmente, da depositi di tipo argilloso-limoso. Spesso le ultime fasi di attività dei paleoalvei hanno comportato la deposizione di sedimenti limosi, che quindi ricoprono completamente le sabbie. In contrapposizione ai paleoalvei vi sono le aree depresse che rappresentano porzioni di territorio altimetricamente più basse di forma concava e denominate aree di interdosso.

Dalla Carta Geomorfologica del Piano Strutturale Associato di Bondeno (Figura 5) emerge che l'area 3 è attraversata da un paleoalveo con direzione NE-SO mentre le aree 1 e 2 non presentano elementi geomorfologici di rilievo.

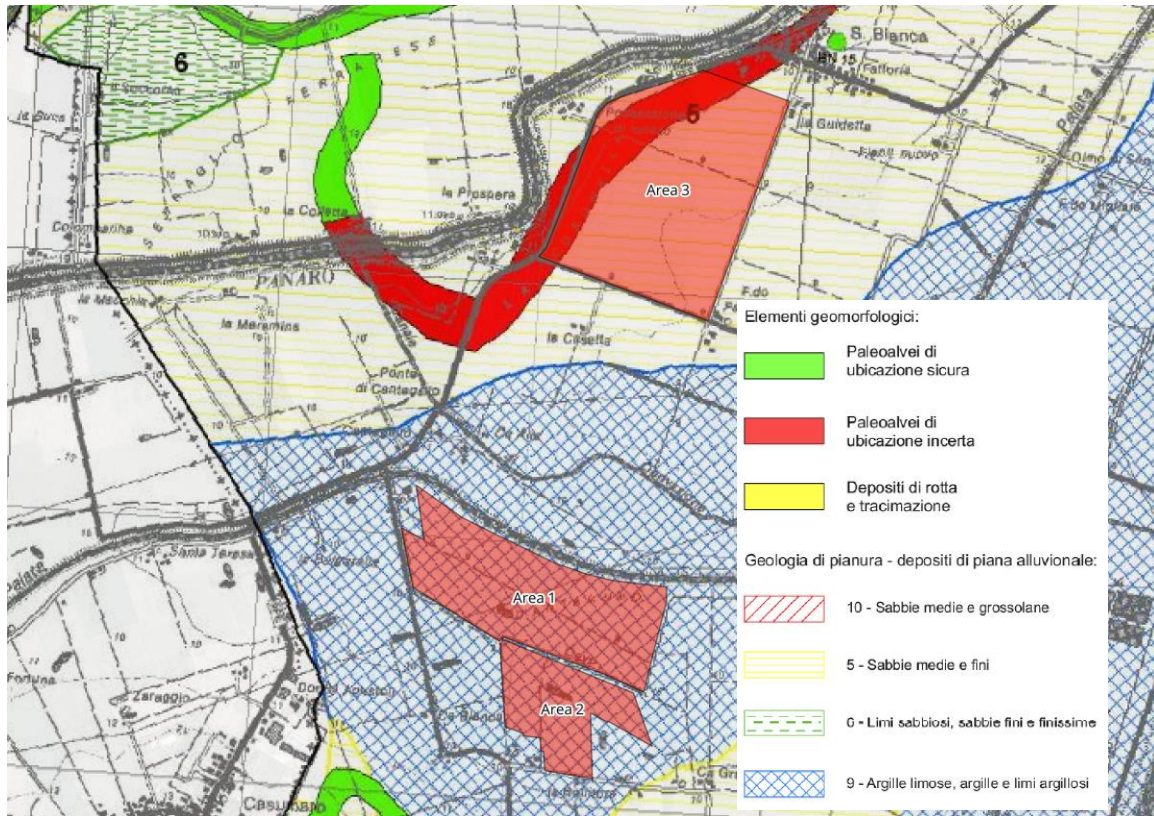


Figura 5 – Estratto della Carta Geomorfologica del Piano Strutturale Associato di Bondeno

3.3 Inquadramento idrogeologico

Il territorio di Bondeno appartiene al Bacino Idrogeologico della Pianura Emiliano – Romagnola. Tale sistema è caratterizzato da acquiferi monostrato che si sviluppano a ridosso dell'Appennino, dove è presente un unico acquifero costituito da ghiaie che si estendono nel sottosuolo per decine di metri senza soluzione di continuità e dove in genere la falda può oscillare liberamente (acquifero freatico). Gli acquiferi multistrato si sviluppano più a nord dei precedenti, laddove i corpi ghiaiosi e sabbiosi si separano gli uni dagli altri per la presenza di intercalazioni di sedimenti più fini (limi e argille), dando vita a diversi acquiferi verticalmente sovrapposti, in cui l'acqua è confinata a causa della presenza di depositi impermeabili o poco permeabili; l'acquifero è sempre in pressione o confinato.

In particolare, il sottosuolo della pianura e del margine appenninico viene suddiviso in tre Unità Idrostratigrafiche Sequenziali principali (Gruppi Acquiferi), denominati "A, B e C" (Figura 6), corrispondenti dal punto di vista stratigrafico rispettivamente al Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore, al Sintema Emiliano-Romagnolo Inferiore e al Supersintema Quaternario Marino. 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 da pacchi di sabbie alternati a sedimenti più fini.

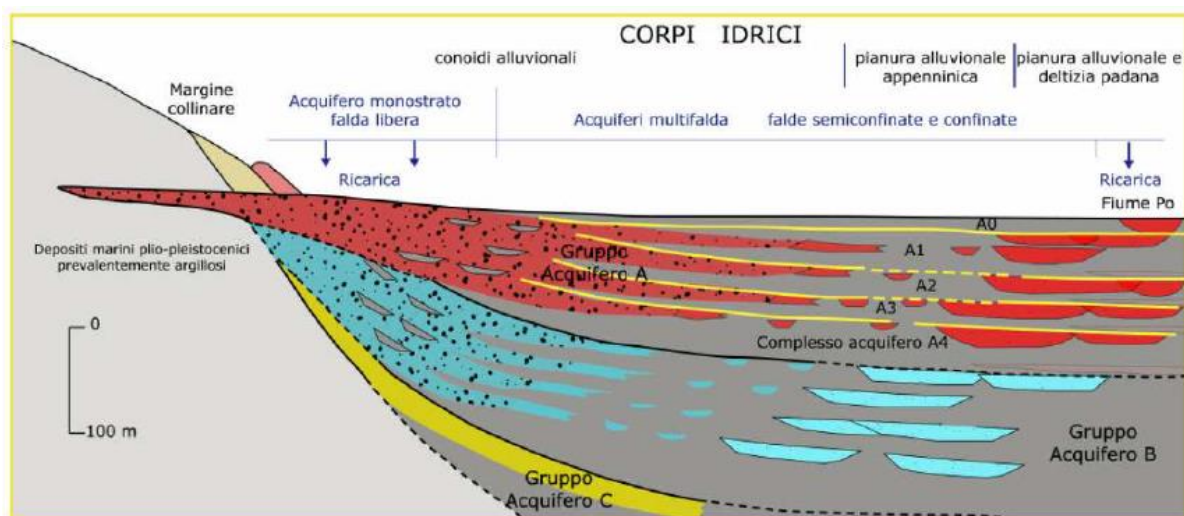


Figura 6 – Schema dei corpi idrici e delle unità idrostratigrafiche nel sottosuolo della pianura emiliano-romagnola

L'area dell'Alto Ferrarese, in cui ricade il sito in esame, è interessata dal sistema acquifero multistrato e, in particolare, dal complesso idrogeologico della pianura alluvionale e deltizia padana.

Per quanto riguarda l'acquifero freatico, nel territorio dell'Alto Ferrarese la superficie freatica è compresa tra un massimo di 16,6 m s.l.m. (nel comune di Cento) ed un minimo di 3,4 m s.l.m. (nel comune di Vigarano Mainarda). Il gradiente piezometrico aumenta spostandosi da nord a sud, con valori inferiori a 0,5‰ nella porzione occidentale del comune di Bondeno per arrivare a valori di circa 1,5-2‰ nella porzione meridionale del comune di Cento.

La Carta della superficie freatica del Piano Strutturale Associato di Bondeno (Figura 7) pone l'area 1 tra le isofreatiche 7,5 e 8,5 m s.l.m., l'area 2 tra le isofreatiche 8 e 9 m s.l.m. mentre l'area 3 tra le isofreatiche 7 e 8 m s.l.m..

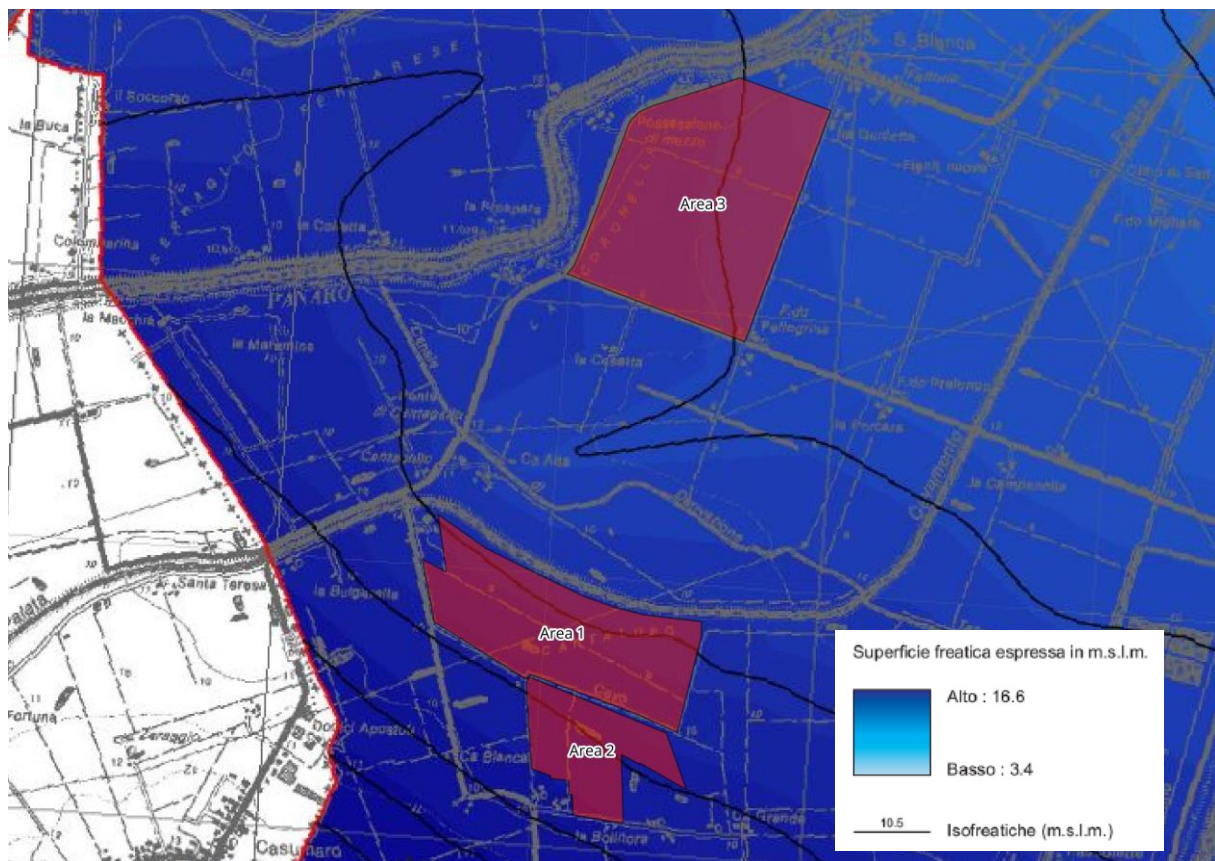


Figura 7 – Estratto della Carta della superficie freatica del Piano Strutturale Associato di Bondeno.

4 INDAGINI IN SITO

4.1 Planimetria dell'intervento

In Figura 8 e Figura 9 si riporta l'ubicazione delle indagini su base satellitare.



Figura 8 – Estratto foto con ubicazione delle indagini eseguite nell'Area 1 e Area 2 (Google Earth)



Figura 9 – Estratto foto con ubicazione delle indagini eseguite nell'Area 3 (Google Earth)

4.2 Installazione piezometri a tubo aperto

La posa in opera dei tubi piezometrici a tubo aperto è avvenuta previa pulizia del foro di sondaggio e secondo le seguenti modalità operative:

- inserimento del piezometro fino alla quota fissata;
- verifica dell'assenza di impedimenti al passaggio degli strumenti, inserendo per tutta la lunghezza del piezometro gli strumenti stessi o strumenti testimone di dimensioni comparabili;
- riempimento dello spazio tra tubo piezometrico e rivestimento, fino all'estremità superiore del tratto finestrato, con miscela calibrata di sabbia e ghiaietto, estraendo progressivamente il tubo di rivestimento;
- esecuzione di una sigillatura di bentonite in pellets, di spessore 60 cm, al di sopra del filtro in miscela calibrata e successivo ritombamento del tratto rimanente attorno al tubo cieco tramite utilizzo di una miscela di cemento, bentonite e acqua;
- cementazione tratto cieco superficiale.
- chiusura del tubo piezometrico con apposito tappo avvitabile.

Nei sondaggi da S1 a S8 è stato installato un piezometro da 3" in PVC, con installazione di tubo cieco da 0,0 a 3,0 m e tubo microfessurato da 3,0 a 10,0 m. I piezometri sono stati protetti con un chiusino carrabile in ghisa

Per una corretta misurazione della profondità della prima falda superficiale sono stati posizionati inoltre piezometri da 0,5" all'interno dei fori di indagine delle prove penetrometriche e piezometri da 3" nei sondaggi.

Di seguito si riportano i valori di soggiacenza rilevati in data 24/03/2023:

In Tabella 1 e 2 si riportano le caratteristiche delle esplorazioni eseguite e dei piezometri installati.

5 RISULTATI DELLE INDAGINI ESEGUITE

5.1 Soggiacenza e direzione della Falda

Nel sito è stato eseguito il rilievo planoaltimetrico georeferenziato dei punti d'indagine e successivamente sono stati eseguiti n. 1 rilievi piezometrici rispettivamente nelle date del 24/03/2023.

In Tabella 1 si riportano le misure effettuate durante le campagne di acquisizione, con indicazione del livello di soggiacenza da piano campagna e convertito poi come altezza (H) della tavola d'acqua sul livello medio mare.

In Tavola 1 e 2 si riportano i relativi andamenti freaticometrici.

Piezometro	QUOTA PC (m slm)	25/03/2023		30/03/2023	
		Soggiacenza (m da PC)	H (m slm)	Soggiacenza (m da PC)	H (m slm)
CPT1	9.66	0.90	8.761	0.70	8.961
CPT2	9.76	1.15	8.614	1.10	8.664
CPT3	9.68	3.30	6.378	0.78	8.898
CPT4	9.47	2.10	7.368	2.10	7.368
CPT5	9.44	2.00	7.440	1.23	8.210
CPT6	9.63	1.60	8.033	1.14	8.493
CPT7	9.36	2.20	7.160	2.20	7.160
CPT8	9.55	1.30	8.247	1.20	8.347
CPT9	9.46	1.20	8.255	1.14	8.315
CPT10	10.16	2.50	7.662	2.81	7.352
CPT11	9.81	2.50	7.308	2.50	7.308
CPT12	10.26	3.60	6.657	2.90	7.357
CPT13	10.06	2.50	7.558	2.50	7.558
CPT14	10.46	3.10	7.361	3.10	7.361
CPT15	9.86	3.10	6.758	3.14	6.718
CPT16	9.42	2.90	6.519	3.10	6.319
CPT17	10.49	2.90	7.593	3.10	7.393
CPT18	10.23	2.70	7.530	3.20	7.030
CPT19	9.60	1.80	7.800	1.90	7.700
CPT20	9.41	2.90	6.513	3.05	6.363
CPT21	10.28	2.80	7.477	3.12	7.157
CPT22	10.28	2.70	7.577	3.26	7.017
CPT23	9.76	2.80	6.963	3.23	6.533
CPT24	9.27	4.10	5.174	4.12	5.154
CPT25	9.25	3.00	6.251	3.25	6.001
S1	9.56	3.36	6.201	3.23	6.331
S2	9.63	3.21	6.423	3.18	6.453
S3	9.72	1.50	8.222	1.40	8.322
S4	10.20	2.90	7.296	2.70	7.496
S5	9.74	3.45	6.288	3.48	6.258
S6	10.64	4.58	6.058	4.40	6.238
S7	9.74	2.05	7.685	1.77	7.965
S8	9.45	3.21	6.243	3.50	5.953

Palata monte	14.28	4.83	9.451	4.86	9.421
Palata valle	13.34	4.00	9.340	4.11	9.230

Tabella 1 -- Livelli piezometrici

Dall'elaborazione dei dati ottenuti, mediante il programma d'interpolazione Surfer con metodo kriging, è stato possibile ricostruire l'andamento isofreatico locale della falda superficiale, che risulta essere dominato dal complesso reticolo idraulico dell'area. In particolare il fiume Panaro ed il Canale Cavamento Palata, dominano i deflussi sotterranei impostando una generalizzata convergenza verso NNE, sebbene localmente le aste fluviali risultino alimentanti la falda.

Nelle tavole allegate si riportano le isopieze elaborate, dalle quali si deduce la direzione locale della falda con vergenza verso Nord.

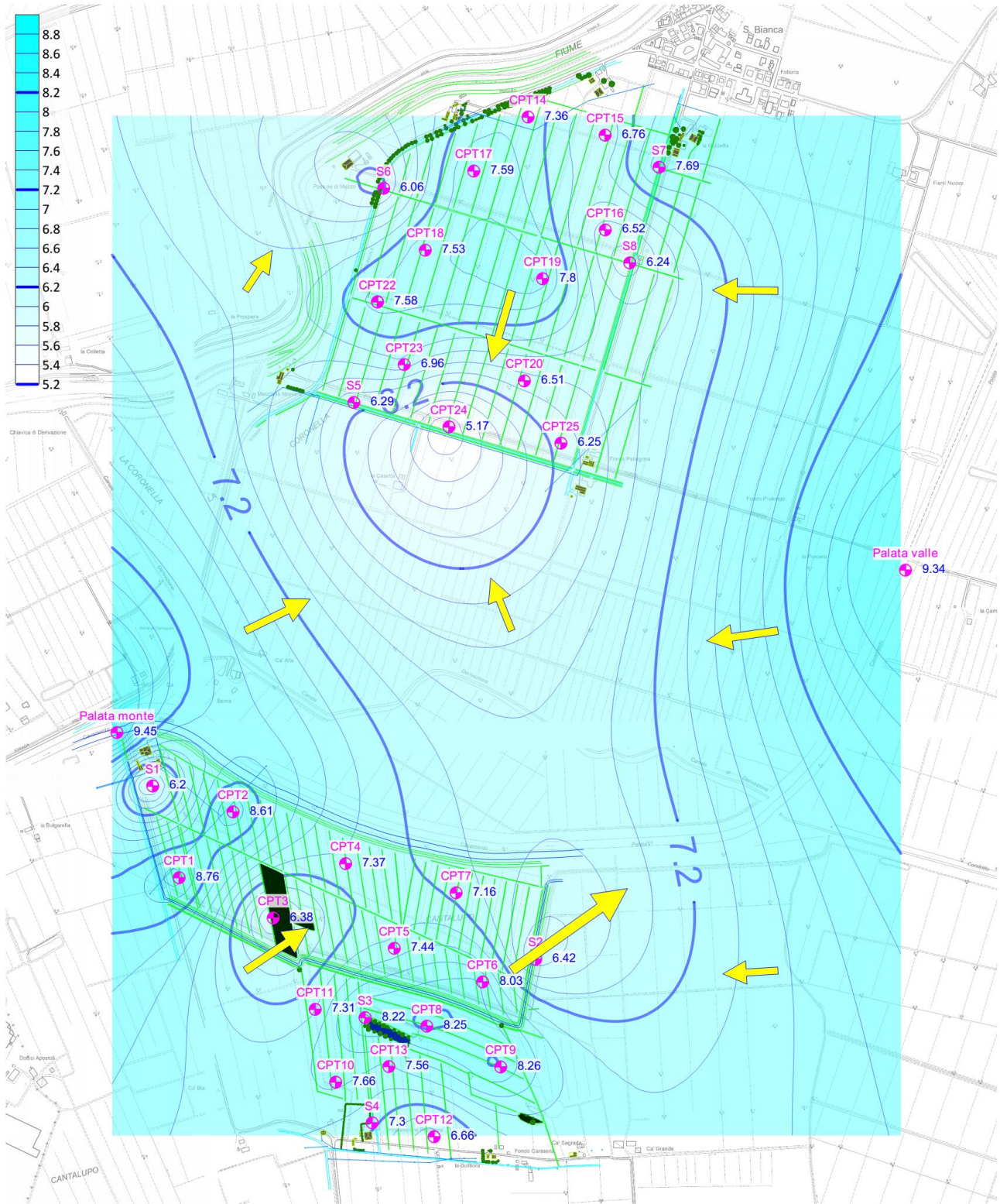


Figura 10 – Estratto carta freaticometrica del 23 marzo 2023

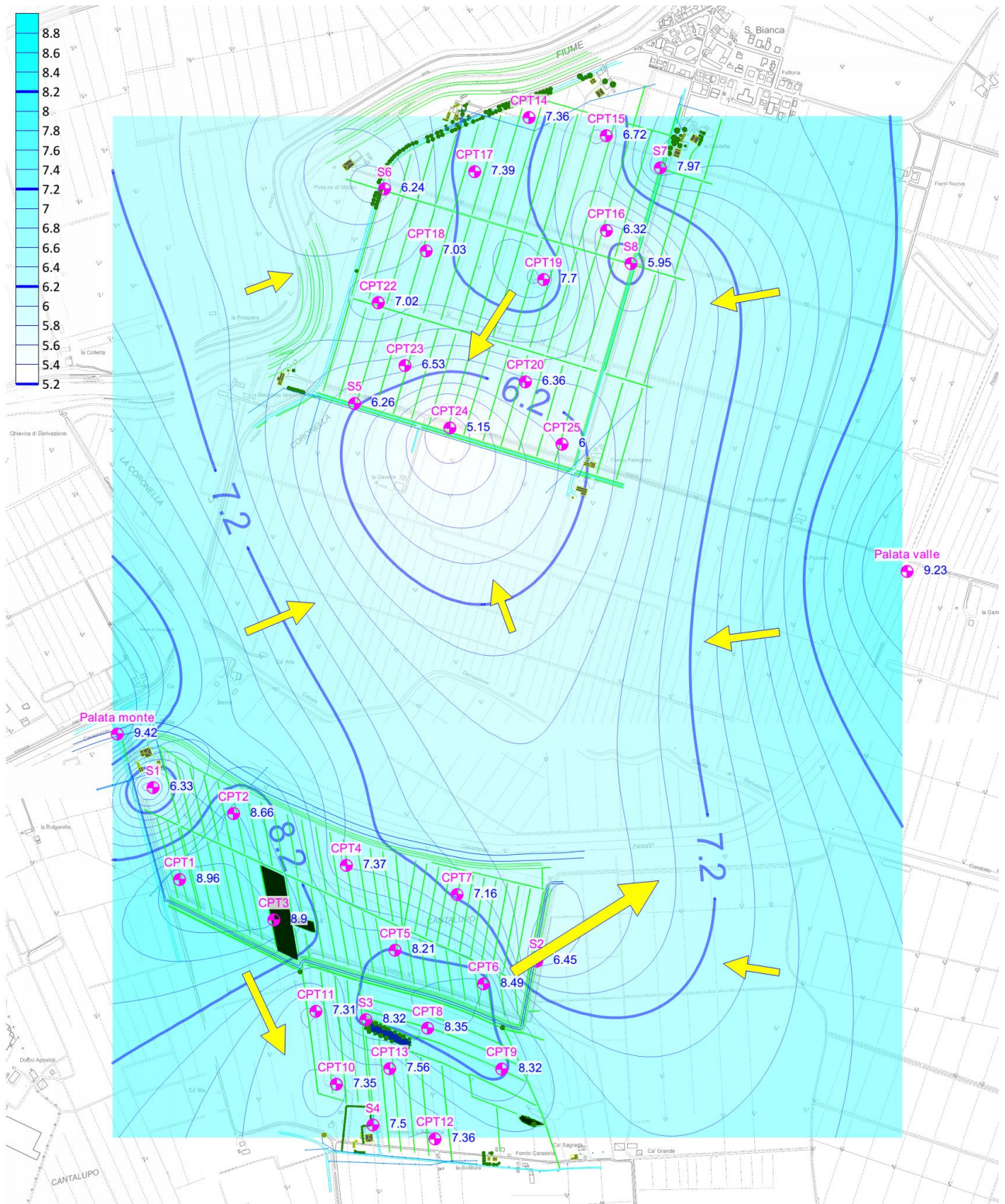
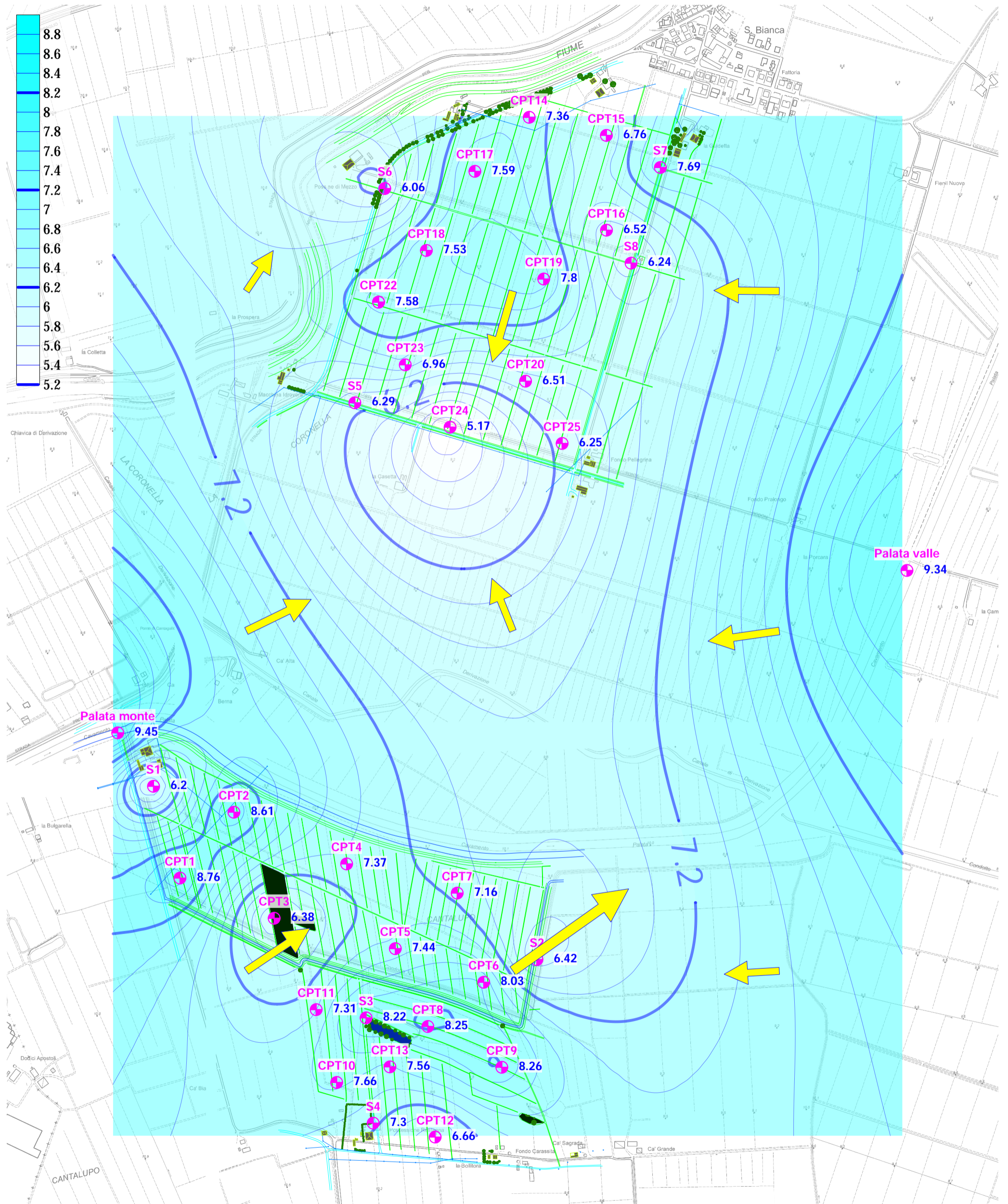


Figura 11 – Estratto carta freaticometrica del 30 marzo 2023

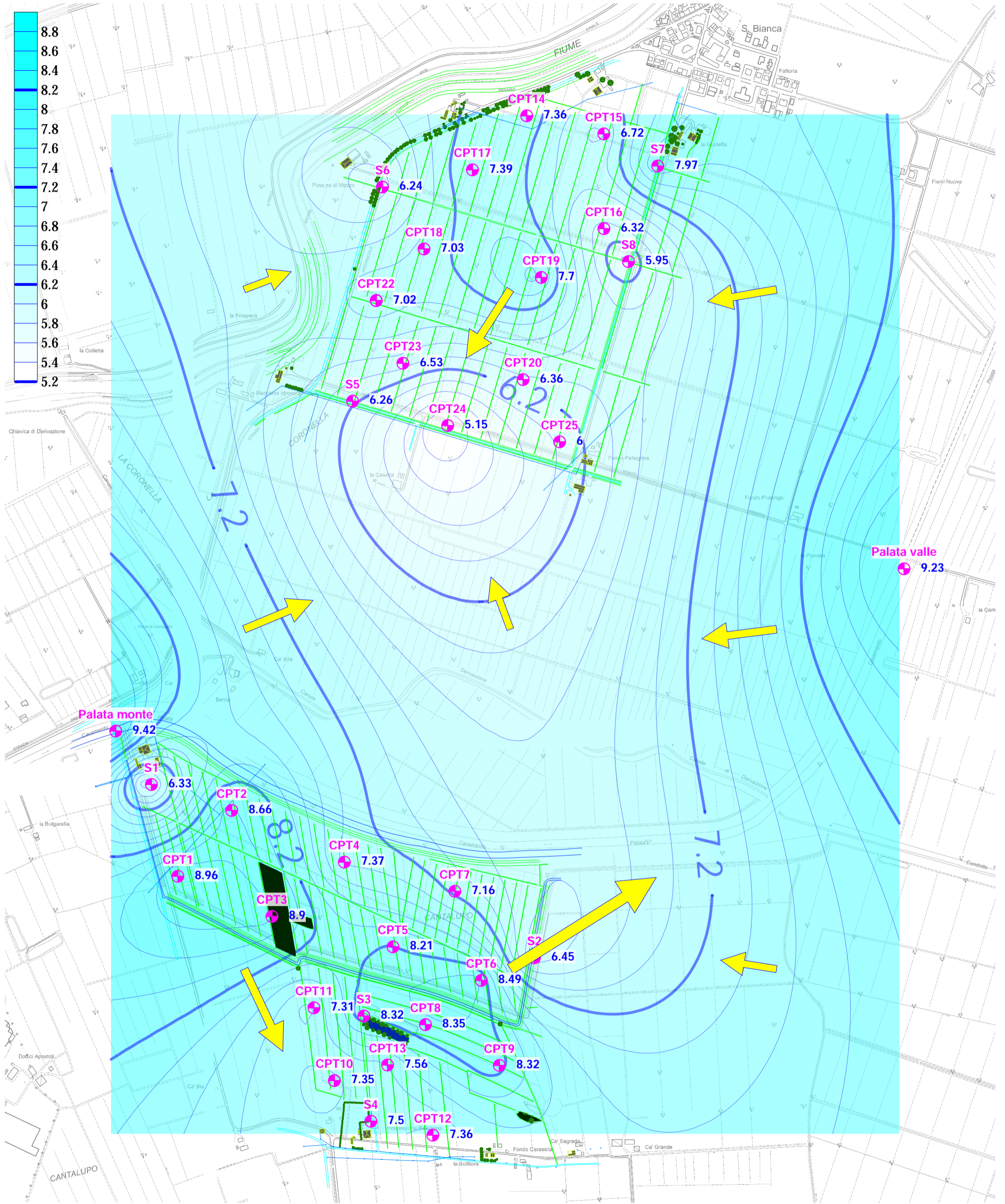
TAVOLE



Freatimetria 25 Marzo 2023



Impianto AGROVOLTAICO
 SOCIETÀ PROPONENTE: Bondeno s.r.l.
 P.IVA 05496160283 pec: bondeno@pec-legal.it



Freatimetria 30 Marzo 2023



Impianto AGROVOLTAICO
 SOCIETÀ PROPONENTE: Bondeno s.r.l.
 P.IVA 05496160283 pec: bondeno@pec-legal.it