

Cliente Enel S.p.A. - Divisione Generazione ed Energy Management
Unità di Business di Rossano

Oggetto Centrale Termoelettrica Enel di Rossano Calabro
Indagine bibliografica sullo stato di qualità delle acque di falda.

Ordine Accordo Quadro Enel – Cesi 2011-2013 n° 8400051749
attingimento 4000345464 del 19.06.2013

Note AG13ESS062 – lettera di trasmissione B3020826

La parziale riproduzione di questo documento è permessa solo con l'autorizzazione scritta del CESI.

N. pagine 31 **N. pagine fuori testo** 0

Data 30/07/2013

Elaborato ESS - Garavaglia Roberto, ESS - Gatto Cesare
B3020825 3260 AUT B3020825 1793913 AUT

Verificato ESS - Sala Maurizio
B3020825 3741 VER

Approvato ESS - Cambiaghi Massimo (Project Manager)
B3020825 3230 APP

CESI S.p.A.

Via Rubattino 54
I-20134 Milano - Italy
Tel: +39 02 21251
Fax: +39 02 21255440
e-mail: info@cesi.it
www.cesi.it

Capitale sociale € 8.550.000 interamente versato
C.F. e numero iscrizione Reg. Imprese di Milano 00793580150
P.I. IT00793580150
N. R.E.A. 429222

© Copyright 2013 by CESI. All rights reserved

Indice

1	PREMESSA	3
2	INQUADRAMENTO TERRITORIALE	4
2.1	Collocazione geografica	4
2.2	Inquadramento geologico e geomorfologico	5
2.2.1	Assetto generale	5
2.2.2	Inquadramento locale	6
2.3	Inquadramento idrogeologico	9
2.3.1	Assetto generale	9
2.3.2	Assetto locale	12
3	CARATTERIZZAZIONE IDROCHIMICA.....	13
3.1	Risultati e considerazioni derivanti dal Piano di Tutela delle Acque della Regione Calabria.....	13
3.2	Considerazioni idrogeochimiche	19
3.3	Reazioni di ossidoriduzione del manganese e del ferro.....	23
4	TENORE DI MANGANESE, FERRO E SOLFATI NEI CAMPIONI DI ACQUA DI FALDA PRELEVATI.....	25
5	CONCLUSIONI.....	29
6	BIBLIOGRAFIA	31

STORIA DELLE REVISIONI

Numero revisione	Data	Protocollo	Lista delle modifiche e/o dei paragrafi modificati
0	30/07/2013	B3020825	Prima emissione

1 PREMESSA

E' stata eseguita una indagine bibliografica circa alcuni aspetti generali dello stato di qualità ambientale delle acque della falda superficiale presso il sito della centrale termoelettrica Enel di Rossano Calabro (CS). La ricerca è stata basata sui dati ufficiali resi disponibili dagli Enti Locali (Regione Calabria, ARPA Calabria, ecc.).

In particolare, sono state ricercate informazioni circa i valori di fondo del tenore di Manganese nelle acque sotterranee nell'area della Piana di Sibari, in corrispondenza della quale è localizzato l'impianto Enel.

Il presente rapporto è articolato nelle seguenti sezioni:

- Inquadramento geologico ed idrogeologico del sito;
- Caratterizzazione idrochimica dei corpi idrici presenti nell'area d'interesse;
- Considerazioni sul tenore di Manganese, Ferro e Solfati presente in alcuni campioni di acque sotterranee prelevati presso il sito;
- Conclusioni.

2 INQUADRAMENTO TERRITORIALE

2.1 Collocazione geografica

La Centrale Termoelettrica di Rossano Calabro è situata nel Comune di Rossano Calabro (provincia di Cosenza), in località Cutura ad ovest del centro abitato di Rossano Scalo. Il sito della centrale si colloca sulla costa del Golfo di Corigliano, che costituisce una insenatura del Mare Jonio aperta verso nord.

L'andamento del fondale marino presenta una decisa pendenza, per cui si raggiungono profondità notevoli anche in vicinanza della costa. Di particolare interesse, infatti, è l'imponente scarpata sottomarina, che ha origine in corrispondenza dell'immediata linea di costa, e che presenta pendenze elevate fino a grandi profondità. I rilievi batimetrici eseguiti in passato hanno messo in evidenza, in corrispondenza delle opere di scarico, la presenza di un'incisione valliva sottomarina molto profonda, con direzione perpendicolare alla costa, che solca la scarpata stessa.

L'area si trova sul versante a NE del massiccio della Sila e dal punto di vista strutturale è posta al contatto tra la struttura montuosa costituita dallo zoccolo calabrese e le successioni sedimentarie recenti di età miocenica, pliocenica e quaternaria degradanti verso il Golfo di Taranto.

In particolare, l'area considerata è delimitata a NO dal Fiume Crati, a N dal mare, a E dal corso del Fiume Trionto, mentre a S il limite dell'area è definito da una linea ideale che congiunge gli abitati di S. Giacomo d'Acri (SO) e di Cropalati, ubicati sul versante N del massiccio della Sila.

Dal punto di vista orografico, il territorio presenta una notevole variabilità: infatti, il limite S del territorio considerato è caratterizzato da aree montagnose che, proseguendo per circa 10 km verso il mare (N), vengono sostituite progressivamente da aree collinari (fascia intermedia) fino ad incontrare un'area costiera pianeggiante. L'altimetria dell'area varia, quindi, dai circa 1200 m s.l.m. del Cozzo del Morto e del Cozzo del Pesco alle decine di metri della fascia costiera pianeggiante, interessata prevalentemente dalle attività agricole.

Il sito di centrale occupa un'area recintata di circa 38 ettari, su un totale di circa 70 ettari di proprietà.

La Figura seguente riporta l'inquadramento geografico del sito.

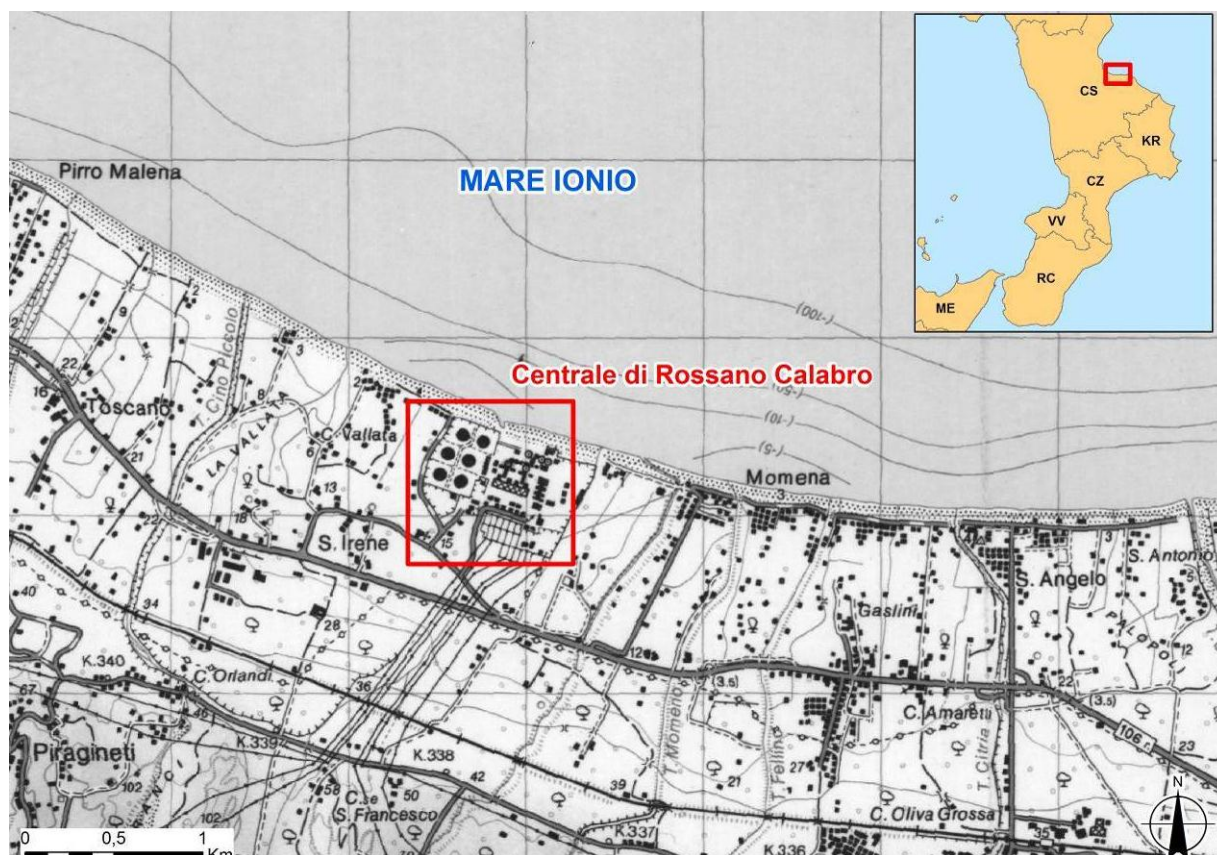


Figura 1 - Localizzazione geografica della centrale Enel di Rossano Calabro (CS).

2.2 Inquadramento geologico e geomorfologico

2.2.1 Assetto generale

La penisola Calabrese presenta una struttura geologica singolare. Infatti la prima parte della Regione, partendo dal confine con la Basilicata, cioè quella caratterizzata dal massiccio del Pollino, appartiene geologicamente alla vasta regione appenninica meridionale di natura calcarea e dolomitico-calcarea. La natura geologica diviene fondamentalmente diversa a sud di una linea virtuale che parte sul Tirreno da Belvedere Marittimo, prosegue per il passo dello Scalone e continua lungo l'Esaro e il Coscile per finire alla foce del Crati sullo Ionio.

La Regione si mantiene montuosa ed accidentata, ma i rilievi sono costituiti prevalentemente da rocce cristalline eruttive o scistose (graniti, porfidi, dioriti, gneiss, micascisti) risalenti al Paleozoico. Queste sono profondamente degradate per l'azione atmosferica, quasi sempre modellate ed arrotondate sicché prevalgono le forme ad altipiano e dorsali con cupole allineate. Questa massa, suddivisa nei periodi alterni di emersione e sommersione del Mesozoico e del Cenozoico e fratturata da potenti faglie, ha ricevuto la sua attuale forma nel Pliocene (12 milioni di anni orsono). Da ciò derivano le formazioni periferiche, calcaree, argillose, marnose nonché di arenarie e conglomerati. A queste formazioni sedimentarie e alle formazioni alluvionali del Neozoico, si deve anche la completa saldatura tra la parte cristallina-eruttiva e scistosa e quella calcarea dolomitica che ha dato origine alla piana di Sibari.

In particolare, il territorio attorno a Rossano appartiene prevalentemente alle formazioni periferiche succitate, composte da arenarie tenere, argille, argille marnose, conglomerati

massicci, calcari arenacei, conglomerati poligenetici, calcari rossi, derivate dalla degradazione delle rocce eruttive e scistose. A Ovest di Rossano e a Sud di Corigliano, compaiono complessi di rocce acide intrusive a composizione variabile (granito, quarzo monzonite, dioriti), risalenti al Paleozoico, che si presentano però profondamente alterati.

A Sud di Rossano, possiamo trovare anche un cuneo di rocce metamorfiche (scisti cornubianitici e scisti filladici).

Il vecchio abitato di Rossano è costruito su un costone di conglomerato rossastro stratificato a circa 290 m s.l.m., al cui centro si trova un gruppo di arenarie bruno chiare a cemento calcareo del Miocene. Proseguendo verso l'interno, a Ovest del cuneo di rocce metamorfiche (lungo circa 2 km e con altezza max. di 800 m) che si trova proprio alle spalle di Rossano, troviamo rilievi formati da complessi di rocce acide intrusive, quarzodiorite, graniti, che si presentano piuttosto accidentati (altezze massime dai 600 ai 1300 m). Verso E-SE, dopo la valle del torrente Colognati, i rilievi, che sono assai meno accentuati (dai 170 ai 320 m circa), sono costituiti in prevalenza da argille marnose e arenarie tenere. Procedendo verso S-SW invece troviamo rilievi che raggiungono anche i 1000 m e sono costituiti da arenaria e conglomerati a cemento calcareo dell'Eocene, seguiti da calcari rossi o biancastri e calcari marnosi e arenacei del Giurassico.

Scendendo da Rossano centro verso il mare, prima della pianura alluvionale, troviamo una fascia collinare di arenarie tenere e conglomerati del Miocene. Seguono argille siltose del Calabriano che s'intersecano con conglomerati e sabbie bruno-rossastre del Pleistocene, quindi alluvioni fissate dalla vegetazione e alluvioni ciottolose-sabbiose. Lungo la linea di costa sono presenti dune e sabbie eoliche, mobili o stabilizzate.

In sintesi, possiamo quindi distinguere otto zone:

- 1) la fascia di pianura alluvionale risalente all'Olocene, larga mediamente 4 Km;
- 2) una fascia - di circa 2 Km - di argille siltose e conglomerati Pliocenici;
- 3) alcune aree di conglomerati e sabbie Pleistoceniche;
- 4) una zona collinare di argille, di arenarie tenere e di conglomerati ghiaiosi del Miocene;
- 5) una zona a rilievi formati da arenarie a cemento calcareo e conglomerati a matrice calcarea dell'Eocene;
- 6) una zona a rilievi di calcari rossi o biancastri e calcari marnosi arenacei del Giurassico;
- 7) rilievi più accentuati, costituiti da rocce acide intrusive del Paleozoico;
- 8) vasti lembi di rocce metamorfiche, scisti e gneiss biotitici del Paleozoico.

Altri elementi geomorfologici della Piana sono rappresentati da conoidi di deiezione fossili, che hanno comportato una visibile pensilità degli alvei, provocando l'inalveamento delle aste terminali.

2.2.2 Inquadramento locale

L'area della centrale è collocata nella fascia costiera pianeggiante dominata dai sedimenti pliocenici e olocenici recenti.

La geologia dell'area su cui insiste il sito di centrale, infatti, è costituita da una complessa successione che può essere sintetizzata, partendo dall'alto stratigrafico, da una serie di depositi alluvionali (alluvioni dei letti fluviali e della fascia costiera) aventi granulometrie piuttosto grossolane, da conoidi di deiezione e dune costiere. Il letto di queste coperture superficiali è costituito dai conglomerati e sabbie pleistoceniche e da argille siltose.

Nell'intera Piana di Sibari lo spessore dei depositi alluvionali (depositi alluvionali e fluviolacustri – spiagge attuali) si aggira attorno ai 20 metri e presenta una struttura del

tipo conoide di deiezione invece lo spessore dei depositi continentali (alluvioni terrazzate – fluviolacustri e fluvioglaciali) si aggira intorno ai 120 metri in prossimità della costa, il cui basamento, come già detto in precedenza, risulta praticamente impermeabile.

Nella Figura seguente si riporta lo schema geologico della fascia costiera del Bacino di Sibari.

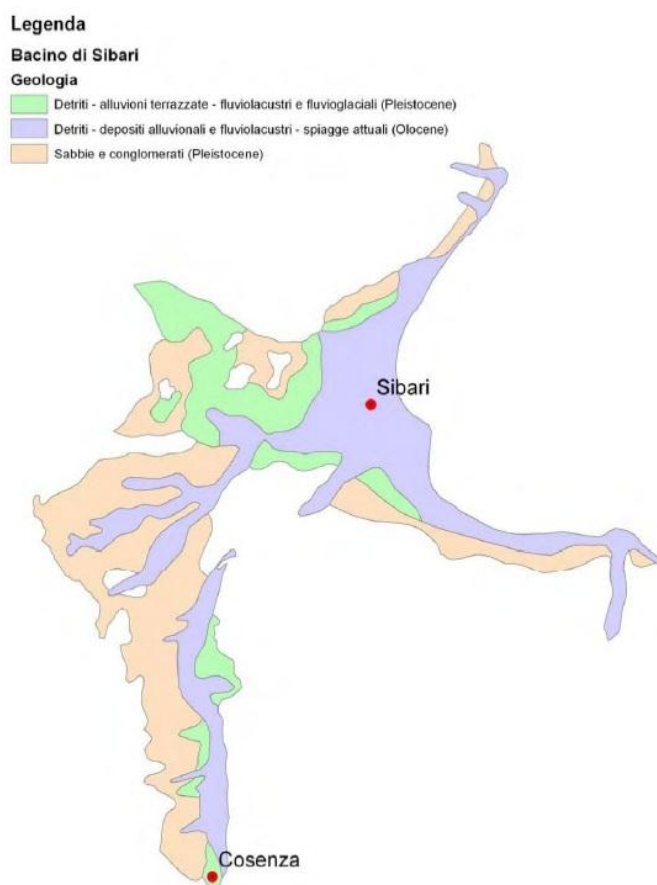


Figura 2 – Schema geologico del Bacino di Sibari
(PTA della Regione Calabria)

La Carta Geologica di Rossano (scala 1:200.000), riportata nella Figura seguente, conferma le informazioni di carattere geologico sopracitate; il sito è ubicato su depositi alluvionali recenti olocenici (identificati con il simbolo *a* nella Carta Geologica), costituiti dagli alvei dei fiumi e torrenti e dalle spiagge.

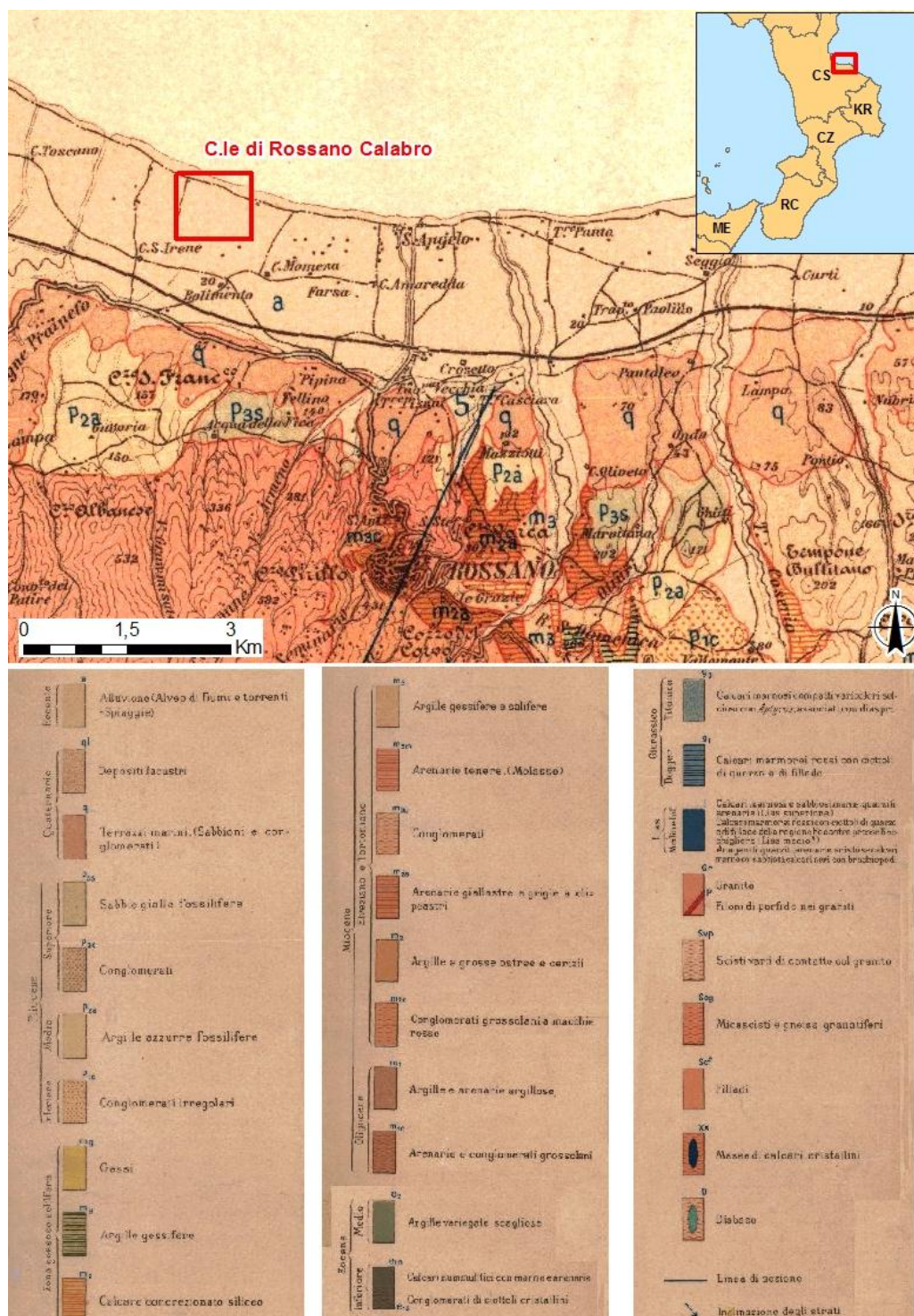


Figura 3 – Carta Geologica – Foglio 230: Rossano.

La natura e l'assetto litostratigrafico di dettaglio dell'area dove si ubica la centrale Enel di Rossano Calabro è ricostruibile grazie ad alcuni studi eseguiti nel corso degli anni '90; si fa riferimento in particolare alla relazione geologica redatta da SGI s.r.l. di Milano nel gennaio del 1990 [3] e alla campagna d'indagini geognostiche eseguite da ISMES tra l'ottobre e il dicembre dello stesso anno [4].

Le tipologie di terreno evidenziate sono quelle tipiche degli ambienti lagunari ed in particolare si distinguono le seguenti unità:

- **Terreno di riporto** (da p.c. fino 2-3 m da p.c.) - costituito da terreno vegetale e da sabbia grossa e media, da debolmente limosa a limosa, con ghiaia sparsa sub-arrotondata;
- **Unità ghiaiosa superiore** (da 2-3 m a 30-35 m da p.c.) - costituita da diversi orizzonti:
 - localmente i primi 2-3 m di spessore (fino a profondità di 4-5 m da p.c.) sono interessati da un orizzonte discontinuo di limo sabbioso debolmente argilloso, passante anche a limo argilloso.
 - i successivi 8-10 m di spessore (fino a circa 15 m da p.c.) sono costituiti da ghiaie eterometriche arrotondate in matrice da debolmente limosa a limosa con ciottoli da arrotondati a spigolosi;
 - infine fino ai 30-35 m da p.c. si trova un potente orizzonte sabbioso a gradazione decrescente con la profondità; in questo orizzonte sono presenti rari resti conchigliari.

Quest'unità presenta un significativo ispessimento verso il mare, mentre verso monte la sua metà inferiore passa da litotipi ghiaiosi a litotipi sabbiosi. Tale unità è sede di una falda freatica superficiale.

- **Unità limosa intermedia** (da 30-35 da p.c. a oltre 40 m da p.c.) - costituita da alternanze di livelli limoso sabbiosi e limi argillosi grigi, varianti in argilla limosa con episodi torbosi. Questa unità si estende con regolarità in tutta l'area e sembra ridurre i suoi spessori andando da terra verso il mare.

Oltre i 50 m si trova una "*Unità ghiaiosa intermedia*", denominata così perché compresa tra due orizzonti poco permeabili (a maggiori profondità s'identifica infatti una "*Unità argillosa*"); questa unità è sede di una falda profonda in pressione con superficie piezometrica attestata tra i 5 e i 6,7 m s.l.m..

In generale, fino ad una profondità di 100 metri al di sotto della Piana, gli acquiferi più importanti sono rappresentati da livelli ghiaioso-sabbiosi intercalati nelle argille grigio-azzurre di origine marina e dai depositi sabbiosi e ghiaioso-sabbiosi di riempimento dei paleoalvei presenti. Tali depositi risultano intercalati a livelli argilloso-limosi impermeabili che costituiscono condizioni per cui le falde acquifere si portino in pressione.

2.3 Inquadramento idrogeologico

2.3.1 Assetto generale

L'assetto geologico generale sopra descritto e la distribuzione e la natura dei diversi corpi geologici presenti, permettono d'individuare una serie di acquiferi, distinguibili in due tipologie fondamentali:

- Acquiferi permeabili per porosità (alluvionali);
- Acquiferi permeabili per fessurazione.

Alla prima categoria appartengono gli acquiferi che interessano prevalentemente le vallate alluvionali dei corsi d'acqua e le piane costiere. Nella generalità, trattasi di acquiferi con caratteristiche di permeabilità non elevate, estremamente variabili arealmente e lungo la verticale, in relazione alle modalità di deposizione delle alluvioni ed in particolare della potenza che assumono localmente i termini più grossolani; talora la circolazione si esplica in pressione. Localmente sono identificabili circolazioni idriche

confinare, anche a notevole profondità nelle piane alluvionali, in seno alle formazioni conglomeratiche plioceniche, ma risultano di limitata importanza ai fini di un loro sfruttamento.

I principali acquiferi permeabili per fessurazione interessano gli ammassi rocciosi fratturati, presenti, generalmente nelle aree interne della regione, in corrispondenza degli apparati strutturali calcarei e calcareo-dolomitici e metamorfici.

L'area d'interesse si colloca all'interno del bacino idrogeologico del Bacino di Sibari, costituita da una serie di depositi continentali, in particolare alluvionali, che risultano permeabili per porosità e poggianti su sedimenti di origine marina praticamente impermeabili. Su tale basamento pre-pliocenico, poggiano terreni trasgressivi, costituiti da conglomerati passanti verso l'alto ad argille grigio-azzurre, con intercalazioni più o meno frequenti di livelli sabbiosi e conglomeratici.

Nella Figura seguente è indicata l'estensione areale del Bacino idrogeologico di Sibari.

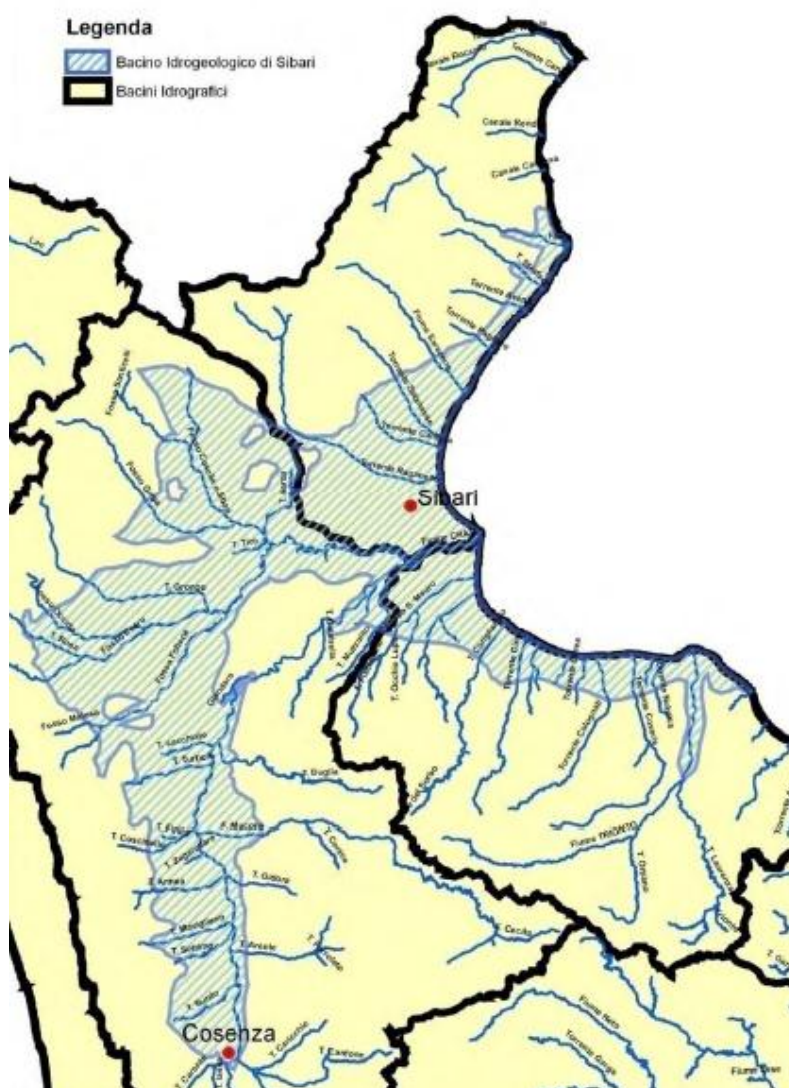


Figura 4 – Bacino idrogeologico di Sibari
(PTA della Regione Calabria)

Come riportato nel Piano di Tutela delle Acque (PTA) della Regione Calabria [1], le falde alluvionali (ospitate nelle alluvioni recenti) del versante ionico sono sede di falde idriche più o meno consistenti, sia pure con valori di trasmissività variabili, in relazione alla variabilità granulometrica propria dei singoli acquiferi.

Lo spessore dei depositi alluvionali generalmente è dell'ordine di 20-50 metri nel corso mediano delle vallate e di 60-100 metri nella zona costiera. Tali acquiferi sono limitati da un substrato costituito da argille, arenarie e conglomerati mio-pliocenici. Il contesto idrogeologico di riferimento è quello tipico delle fasce costiere, con diffuse e assai problematiche interazioni con i fenomeni d'ingressione marina.

Per quanto riguarda in particolare il Bacino di Sibari, il Piano di Tutela delle Acque ricorda che la Piana di Sibari è una delle aree più siccitose della Calabria e pertanto gli apporti idrometeorici della zona non hanno importanza per quanto concerne l'alimentazione delle falde acquifere.

La direzione di scorrimento generale delle acque sotterranee, all'interno del bacino idrogeologico del Bacino di Sibari, è orientata mediamente dall'entroterra verso il mare; nello specifico, riguardo l'area d'interesse, il deflusso idrico sotterraneo è orientato circa da SO a NE, come indicato nella Figura seguente.

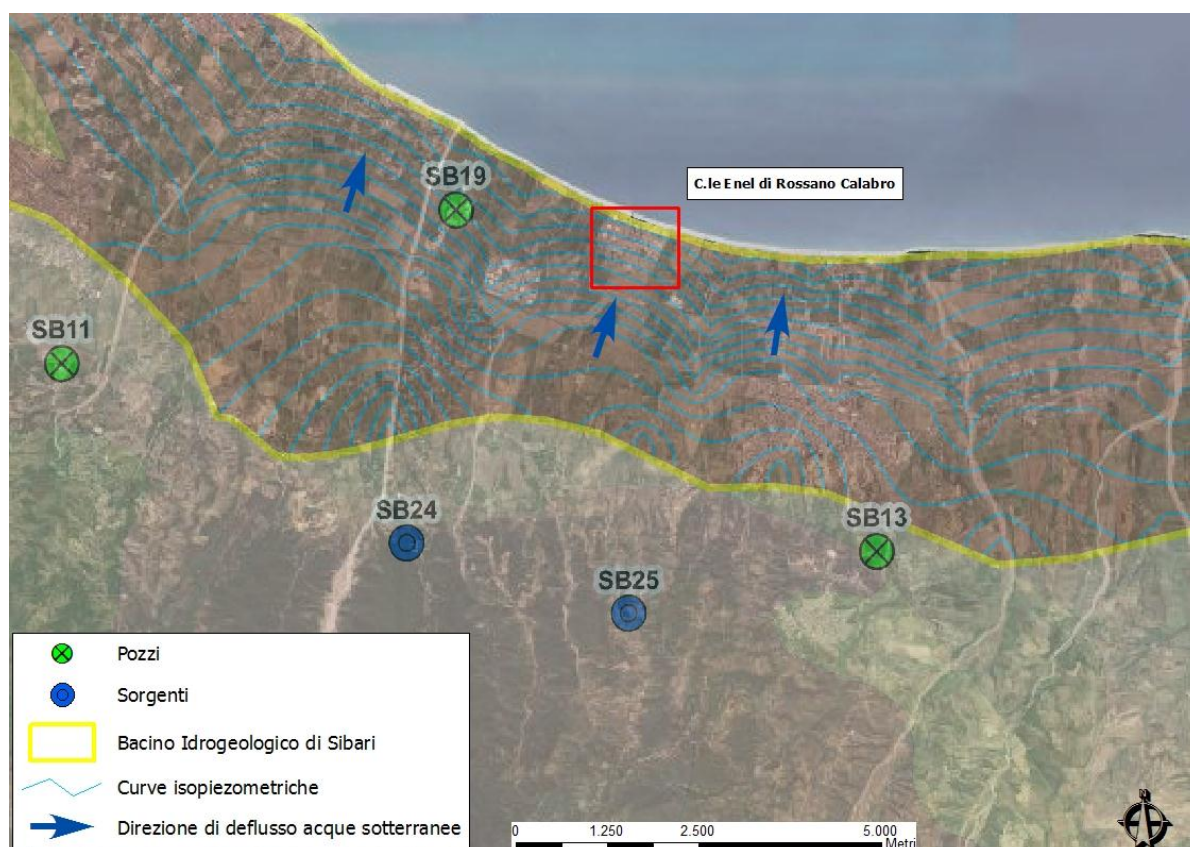


Figura 5 – Carta della rete di monitoraggio delle acque sotterranee.
(Bacino idrogeologico di Sibari)
(PTA della Regione Calabria)

2.3.2 Assetto locale

Dalle informazioni in possesso, si deduce la presenza di una falda acquifera superficiale contenuta nell'orizzonte ghiaioso superficiale, limitata inferiormente dall'unità limosa intermedia, che costituisce la base dell'acquifero superficiale.

Il livello statico di tale falda si attesta a profondità comprese tra circa 4,4 e 2,1 metri da p.c., con quote variabili da 5,5 a 0,7 metri s.l.m., come mostrato nella Tabella seguente, in cui sono riportati i dati di soggiacenza della falda, rilevati in data 28/03/2013.

Piezometro	Quota di bocca pozzo (m s.l.m.)	Soggiacenza falda (m da b.p.)	Livello piezometrico (m s.l.m.)
PZ1	2,76	-2,02	0,74
PZ2	4,94	-4,31	0,63
PZ3	7,89	-2,44	5,45

Tabella 1 – Valori di soggiacenza della falda (misura del 28/03/2013)

La ricostruzione della superficie piezometrica riportata nella Figura seguente, che interessa solo il settore dell'area di centrale per il quale sono disponibili i dati di soggiacenza, mostra un andamento delle isofreatiche dall'entroterra verso il mare (mediamente da SO verso NE).

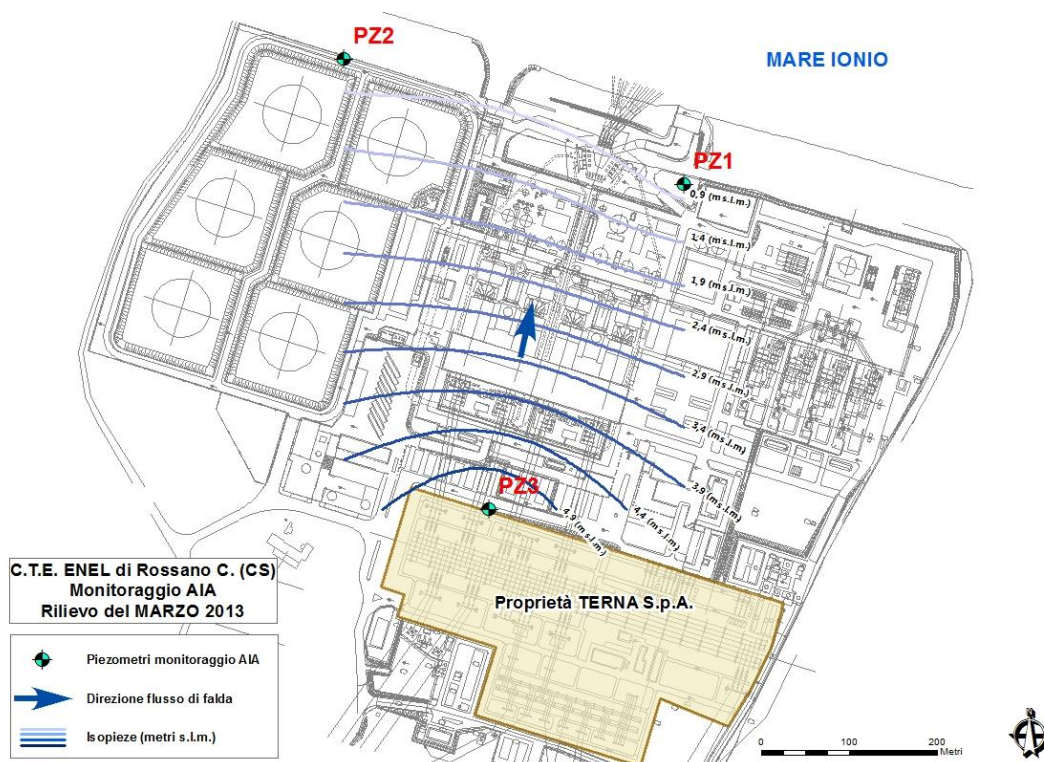


Figura 6 – Carta delle isofreatiche della centrale Enel di Rossano Calabro (misura del 28/03/2013).

3 CARATTERIZZAZIONE IDROCHIMICA

3.1 Risultati e considerazioni derivanti dal Piano di Tutela delle Acque della Regione Calabria

Lungo la valle del Fiume Crati, delimitata dai rilievi montuosi costituiti da terreni sedimentari e da rocce metamorfiche e plutoniche, affiora, in posizione trasgressiva sui predetti terreni, una successione di termini argillosi, sabbiosi e conglomeratici di età plio-pleistocenica. A questi si sovrappongono in maniera discontinua depositi alluvionali antichi e recenti ed ampie conoidi localizzate allo sbocco dei principali affluenti.

Nell'ambito di detta successione i termini sabbiosi infrapliocenici di spessore consistente rappresentano un acquifero d'interesse nell'area d'indagine, sebbene dotato di permeabilità ridotta e da frequenti passaggi eteropici ad argille marnose. Essi sono sede di una falda in parte libera ed in parte semiconfinata unitamente ai depositi di fondo valle del Fiume Crati.

I depositi alluvionali recenti, di spessore variabile fra 20 - 30 metri in prossimità della linea di costa e dell'ordine di 10 - 15 metri spostandosi verso l'entroterra della Piana, sono in stretta connessione idraulica con i depositi terrazzati presenti ai margini degli alvei con spessori di 10 - 40 metri, oltre che con le acque superficiali. La falda contenuta nei depositi alluvionali defluisce parallelamente al corso dei principali fiumi e torrenti, mediamente dall'entroterra verso il mare.

La Regione Calabria ha effettuato 4 campagne di monitoraggio della qualità delle acque di falda sui principali bacini idrogeologici della regione, realizzate nel periodo 2006÷2007, i cui risultati sono contenuti nel Piano di Tutela delle Acque della Regione Calabria [1].

In particolare, per il Bacino idrogeologico di Sibari, all'interno del quale ricade l'impianto Enel di Rossano Calabro, il monitoraggio ha evidenziato una sostanziale presenza di inquinanti inorganici (Manganese, Ferro, Solfati, Cloruri, Nitrati, Ione Ammonio).

Per quanto riguarda il **Manganese**, la sua presenza sembra arealmente diffusa, con valori piuttosto alti (1.210 µg/l) nelle aree prossime della linea di costa e valori decisamente più bassi in corrispondenza di alcune sorgenti poste nelle porzioni più marginali dell'area di monitoraggio.

Le Figure seguenti riportano in forma grafica, per i singoli pozzi e sorgenti campionati, i valori di concentrazione di Manganese rilevati nelle 4 campagne di monitoraggio effettuate e gli stessi valori espressi come concentrazioni medie rilevate. Tali valori sono sintetizzati nella Tabella seguente.

MANGANESE	
Pozzi	Concentrazione ($\mu\text{g/l}$)
CSC DLgs 152/2006	50
SB01	6,25
SB02	6,25
SB03	8
SB04	60
SB05	42
SB06	128,5
SB06bis	295
SB07	7,75
SB08	6,67
SB09	14
SB10	20
SB11	85,75
SB12	6,25
SB13	33
SB14	6,25

MANGANESE	
Pozzi	Concentrazione ($\mu\text{g/l}$)
CSC DLgs 152/2006	50
SB15	6,67
SB16	233,33
SB17	411,25
SB18	398
SB19	29,5
SB20	6,25
Sorgenti	Concentrazione ($\mu\text{g/l}$)
CSC DLgs 152/2006	50
SB21	6,67
SB22	13
SB23	6,25
SB24	7,5
SB25	10

Tabella 2 – Manganese: concentrazioni medie rilevate nella Piana di Sibari (2006÷2007).
(PTA della Regione Calabria)

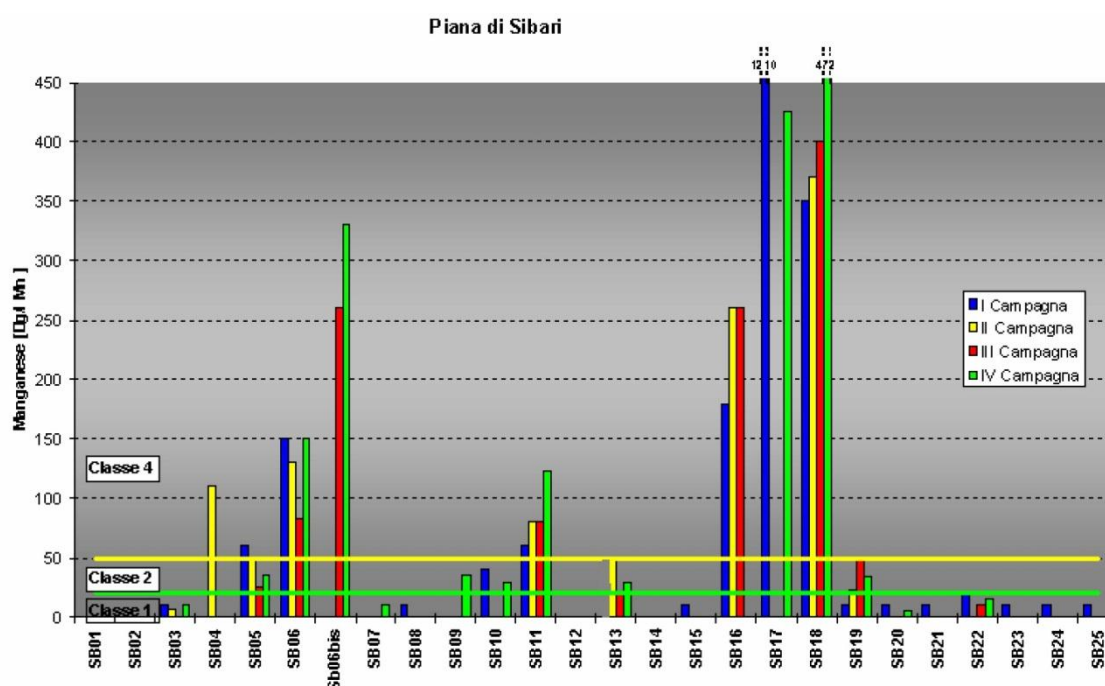


Figura 7 – Manganese: concentrazioni rilevate nella Piana di Sibari (2006÷2007).
(PTA della Regione Calabria)

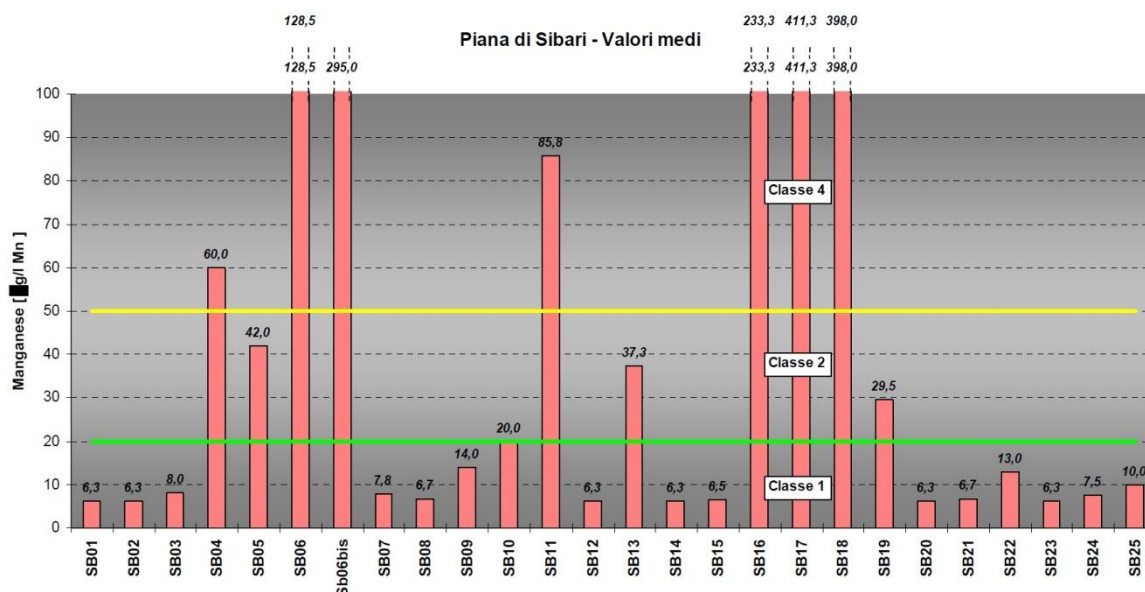


Figura 8 – Manganese: concentrazioni medie rilevate nella Piana di Sibari (2006÷2007).
(PTA della Regione Calabria)

Anche per quanto riguarda il **Ferro**, le concentrazioni misurate sono più volte superiori al limite di riferimento (200 µg/l), con un picco massimo registrato di 1.000 µg/l, in corrispondenza di un pozzo ubicato in prossimità della linea di costa.

Le Figure seguenti riportano in forma grafica, per i singoli pozzi e sorgenti campionati, i valori di concentrazione di Ferro rilevati nelle 4 campagne di monitoraggio effettuate e gli stessi valori espressi come concentrazioni medie rilevate. Tali valori sono sintetizzati nella Tabella seguente.

FERRO	
Pozzi	Concentrazione (µg/l)
CSC DLgs 152/2006	200
SB01	24,5
SB02	20
SB03	20
SB04	115
SB05	265
SB06	216,25
SB06bis	615
SB07	22,5
SB08	20
SB09	20
SB10	19,75
SB11	125
SB12	20
SB13	314,33
SB14	20

FERRO	
Pozzi	Concentrazione (µg/l)
CSC DLgs 152/2006	200
SB15	20
SB16	366,67
SB17	75
SB18	366,5
SB19	86,5
SB20	20
Sorgenti	Concentrazione (µg/l)
CSC DLgs 152/2006	200
SB21	20
SB22	20
SB23	20
SB24	155
SB25	20

Tabella 3 – Ferro: concentrazioni medie rilevate nella Piana di Sibari (2006÷2007).
(PTA della Regione Calabria)

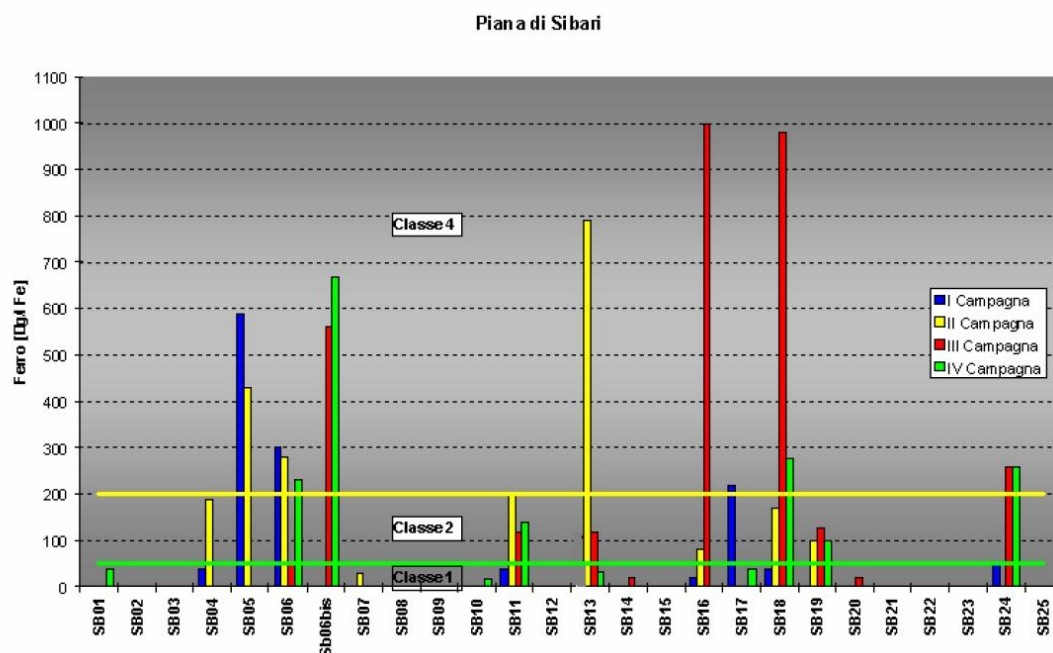


Figura 9 – Ferro: concentrazioni rilevate nella Piana di Sibari (2006÷2007).
(PTA della Regione Calabria)

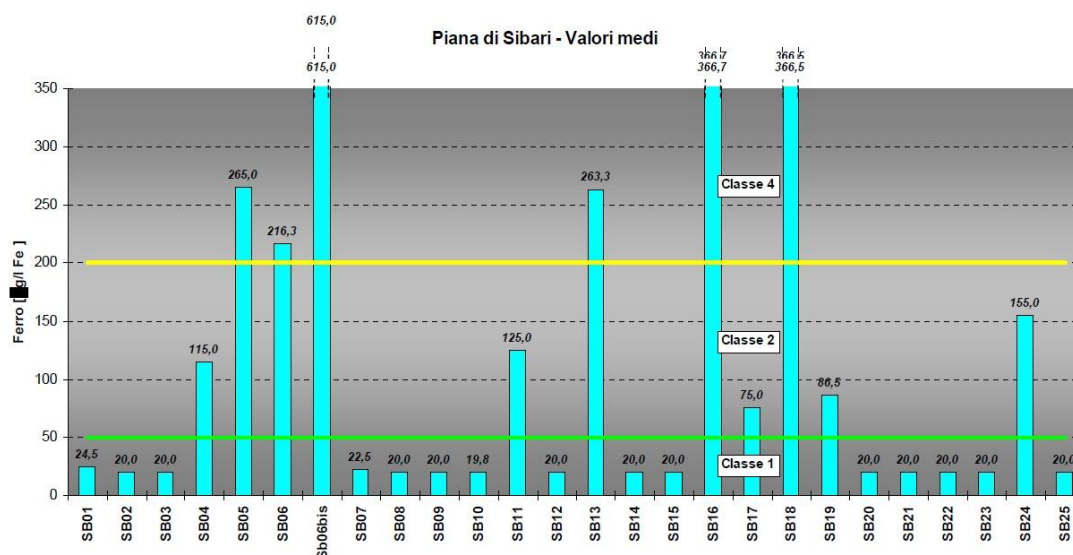


Figura 10 – Ferro: concentrazioni medie rilevate nella Piana di Sibari (2006÷2007).
(PTA della Regione Calabria)

Anche per quanto riguarda i **Solfati**, le concentrazioni misurate sono spesso superiori al limite di riferimento (250 mg/l), con un picco massimo, registrato solo nella prima campagna di monitoraggio, di 530 mg/l, in corrispondenza di una sorgente ubicata in prossimità della linea di costa. Ulteriori superamenti sono stati registrati in corrispondenza di alcuni pozzi posti nel settore centrale e al margine sud-orientale del Bacino di Sibari.

Le Figure seguenti riportano in forma grafica, per i singoli pozzi e sorgenti campionati, i valori di concentrazione di Solfati rilevati nelle 4 campagne di monitoraggio effettuate e gli stessi valori espressi come concentrazioni medie rilevate. Tali valori sono sintetizzati nella Tabella seguente.

SOLFATI	
Pozzi	Concentrazione (mg/l)
CSC DLgs 152/2006	250
SB01	117,48
SB02	5,43
SB03	143,35
SB04	82
SB05	0,85
SB06	68,6
SB06bis	43,05
SB07	73,49
SB08	96,4
SB09	70,58
SB10	52,27
SB11	285,95
SB12	38,31
SB13	136,67
SB14	54,98

SOLFATI	
Pozzi	Concentrazione (mg/l)
CSC DLgs 152/2006	250
SB15	110,13
SB16	1,06
SB17	267,5
SB18	37,15
SB19	45,88
SB20	60,94
Sorgenti	Concentrazione (mg/l)
CSC DLgs 152/2006	250
SB21	283,37
SB22	126,13
SB23	82,74
SB24	11,59
SB25	16

Tabella 4 – Solfati: concentrazioni medie rilevate nella Piana di Sibari (2006÷2007).
(PTA della Regione Calabria)

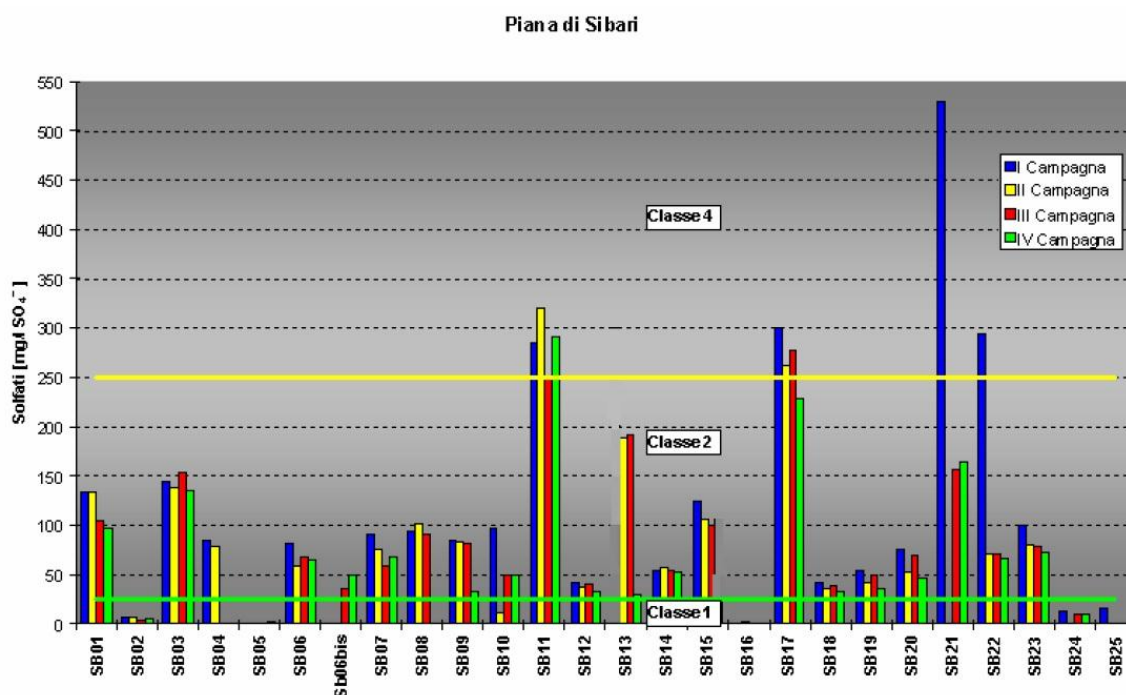


Figura 11 – Solfati: concentrazioni rilevate nella Piana di Sibari (2006÷2007).

(PTA della Regione Calabria)

Piana di Sibari - Valori medi

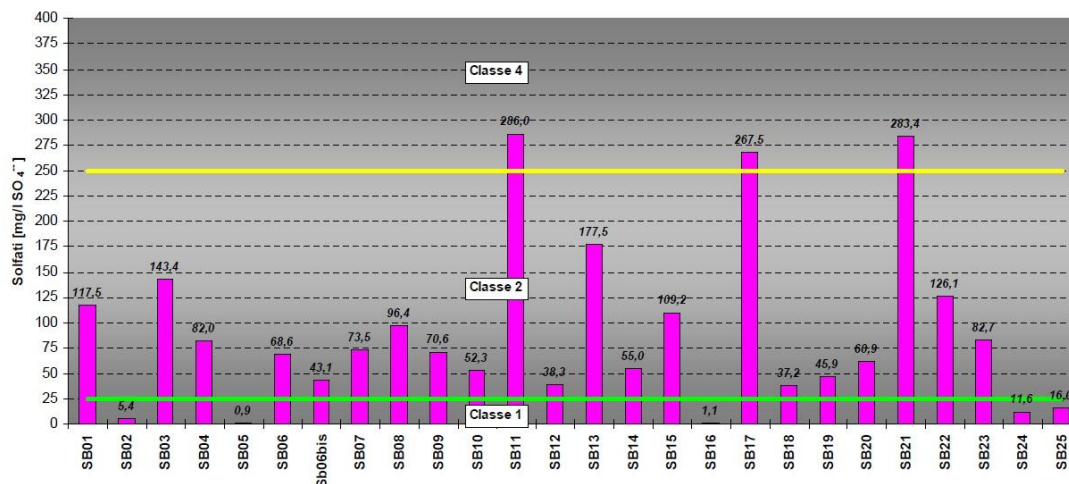


Figura 12 – Solfati: concentrazioni medie rilevate nella Piana di Sibari (2006÷2007).
(PTA della Regione Calabria)

Nel PTA della Regione Calabria si evidenzia come *"...per la Piana di Sibari, limitatamente ai parametri di base, si osservano fenomeni di inquinamento piuttosto diffusi, per i quali risultano responsabili molteplici parametri".* Inoltre, a tal proposito si afferma che *"...le aree più interessate da fenomeni inquinanti siano collocate, in generale, nelle aree più prossime alla costa. La tipologia piuttosto varia di inquinanti rinvenuti e la loro distribuzione nell'area di monitoraggio rendono piuttosto difficile l'identificazione di una potenziale fonte inquinante".*

Come si evince dal PTA stesso, il diffuso inquinamento della Piana di Sibari è attribuibile a due principali parametri:

1. particolari condizioni idrogeochimiche che caratterizzano alcune porzioni dell'acquifero d'interesse;
2. forte pressione antropica dell'area della Piana di Sibari (presenza di attività agricola, attività zootecnica, turistica, pressione abitativa).

Riguardo al primo aspetto, il PTA afferma che *"Le aree a scarsa circolazione idrica sono fortemente mineralizzate, ovvero si può rinvenire in esse, notevoli quantitativi di H₂S, S, CO₂, CH₄ e di cloruri. Ne deriva che le acque sotterranee subiscono una forte evoluzione nel loro chimismo, partendo dai bordi nord-occidentali fino alla costa. [...] La presenza di H₂S, CO₂ e CH₄ è legata alla riduzione di sostanze organiche contenute nei sedimenti..."*.

La presenza dei composti conferma che le acque della Bacino idrogeologico di Sibari hanno subito un'evoluzione, che le ha portate fino all'estremo inferiore della scala dei valori di potenziale di ossido-riduzione e quindi a maggior ragione devono essere in esse presenti anche composti solubili del Ferro e Manganese.

Nel secondo caso, il PTA evidenzia che *"...la Piana di Sibari è la più grande pianura alluvionale della Calabria e tra le aree a maggiore densità abitativa. Principale risorsa economica della zona è rappresentata dall'attività agricola (agrumi, oliveti, risaie), oltre che al turismo con vari villaggi turistici collocati lungo la costa. [...] In particolare è da segnalare come piuttosto accentuato l'inquinamento microbiologico rilevato con*

costanza, in tutte le campagne di monitoraggio. [...] considerata l'esclusiva provenienza fecale della gran parte dei parametri microbiologici investigati si può legare questa forma di contaminazione alla presenza di insediamenti abitativi non serviti da fogna o a perdite della stessa rete fognaria o ancora alla presenza di allevamenti zootecnici".

Un apporto di sostanza organica di origine antropica non può che intensificare il fenomeno del consumo di ossigeno e il raggiungimento di condizioni riducenti da parte dell'acquifero.

Riguardo i Solfati, la presenza di tali specie molecolari nelle acque di falda ha diverse possibili origini: naturali (dissoluzione di gessi e anidriti venuti a contatto con le acque sotterranee, circolazione in acquiferi con un contenuto argilloso, apporti degli spray marini o fenomeni di ingressione marina in zone costiere) o dovute all'azione dell'uomo. In particolare, nelle zone poste in prossimità della costa, la falda acquifera può essere sospesa verso il basso sull'intrusione (nota come "cuneo salino") di acqua marina. La differenza di densità legata alla salinità dei due acquiferi e le condizioni idrodinamiche regolano la posizione dell'interfaccia acqua dolce/salata la cui posizione muta con il tempo. Un abbassamento della superficie piezometrica indotta da un eccessivo sfruttamento della risorsa idrica sotterranea (mediante pompaggi) determina un richiamo verso l'alto di acqua marina, ricca in anioni quali cloruri, solfati e fluoruri, e un conseguente arricchimento di tali elementi nelle acque di falda. La presenza di tale fenomeno può essere facilmente riconosciuto dalla misura della conducibilità elettrica delle acque campionate.

Si ribadisce che nel PTA della Regione Calabria si evidenzia come " *...le aree più interessate da fenomeni inquinanti siano collocate, in generale, nelle aree più prossime alla costa...*". Inoltre, a tal proposito, si evidenzia che " *...un elemento di degrado qualitativo delle falde situate in prossimità della costa è rappresentato dall'intrusione salina, conseguenza diretta dello sfruttamento delle falde con richiamo di acqua salina dal mare.*"

In definitiva quindi, la presenza di Ferro e Manganese, nelle acque sotterranee del sito della C.le Enel di Rossano Calabro è da considerarsi l'espressione di condizioni locali più o meno naturali, che provocano un diffuso inquinamento delle acque di falda della Piana di Sibari e, quindi, non imputabile all'impianto, ma piuttosto riconducibile alla presenza di sostanze organiche nei sedimenti e nelle acque sotterranee (ad esempio presenza di sostanze organiche nei sedimenti fluviali e fluvio-lacustri, quali torba, o presenza di sostanza organica per cause di origine antropica).

Inoltre, la presenza di Solfati nelle acque sotterranee del sito della C.le Enel di Rossano Calabro sembrerebbe imputabile a fenomeni d'ingressione marina, in relazione alla vicinanza dell'impianto alla linea di costa.

3.2 Considerazioni idrogeochimiche

Da un punto di vista idrochimico, ci si attende che alcune condizioni locali possano alterare il chimismo delle acque sotterranee e di conseguenza influenzare le concentrazioni di alcuni metalli disciolti, quali per esempio Ferro e Manganese.

Ferro e Manganese, infatti, sono metalli ubiquitari e abbondanti, presenti anche nella matrice mineralogica dei terreni stessi. Concentrazioni elevate di Ferro e Manganese sono presenti in minerali quali biotite, pirosseno, anfiboli e olivine, abbondanti nelle rocce metamorfiche e granitiche diffusamente affioranti nell'area d'interesse; inoltre, molti dei

fillosilicati che compongono le argille (ad esempio Illite e Clorite) presentano il Ferro tra i loro macro-costituenti, pertanto concentrazioni elevate di Ferro e Manganese (in alcuni casi accompagnati anche Arsenico).

In particolari condizioni, questi metalli possono essere mobilizzati e andare ad arricchire le soluzioni con cui sono venuti a contatto.

La fasi solide degli ossidi del Ferro e del Manganese sono in genere molto insolubili; sono però suscettibili di trasformazioni quando le condizioni ambientali diventano riducenti, cioè a contatto con acque sotterranee che sono molto impoverite di ossigeno.

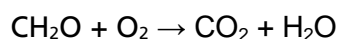
Questa condizione è tipica degli ambienti sotterranei e si presenta per quasi tutti gli acquiferi. Si instaura ad opera dei batteri aerobi presenti nel terreno, che effettuano la decomposizione della materia organica consumando ossigeno e materia organica, portando alla produzione finale di anidride carbonica e acqua.

Il decadimento della materia organica avviene attraverso una serie di reazioni, per lo più mediate da batteri, che hanno luogo sia nei suoli che negli acquiferi.

La materia organica è presente in diversi orizzonti litologici naturali, quali ad esempio sedimenti fluviali, lacustri e palustri e può essere presente anche come materia organica fossile, ossia torba, lignite, ecc.

Il decadimento della materia organica è strettamente connesso ad importanti reazioni, quali la riduzione degli ossidi di Fe e di Mn, del solfato e del nitrato e la formazione di CH₄.

Nella sua forma più semplice, la reazione chimica di decomposizione della materia organica, con consumo di ossigeno e produzione finale di anidride carbonica e acqua, può essere schematizzata come:



Il carbonio organico viene ossidato (viene privato di elettroni) mentre l'ossigeno viene ridotto (riceve elettroni); si dice perciò che l'ossigeno funge da accettore di elettroni.

Quando l'ossigeno presente è stato consumato più rapidamente di quanto non possa venire rifornito per diffusione dall'atmosfera e si esaurisce, i processi di decomposizione vengono continuati dai batteri anaerobi i quali, in condizioni di assenza di ossigeno, iniziano a sfruttare altri composti accettori di elettroni.

In condizioni anossiche, l'ulteriore decomposizione della materia organica ha luogo, ad opera di batteri anaerobi che usano, nell'ordine, l'ossigeno legato in composti quali NO₃⁻ (ione nitrato) ossidi di Fe e Mn, SO₄²⁻ (ione solfato) e nella materia organica stessa. Questo ordine è dettato dalla più o meno facile disponibilità di questi composti ad accettare elettroni.

Il processo iniziale di riduzione dell'ossigeno disciolto nelle acque di falda è perciò seguito da una catena di altri processi che possono avvenire in ambiente sempre più fortemente riducente: prima la riduzione dei nitrati, quindi del Manganese, poi del ferro, dei solfati e del biossido di carbonio. In conseguenza di questi processi, queste sostanze vengono ridotte, mentre il Carbonio che costituisce la materia organica viene ossidato a CO₂.

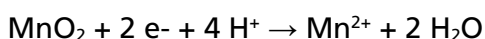
La CO₂ prodotta a sua volta influenza la dissoluzione dei carbonati e dei silicati, come è stato descritto nel paragrafo precedente a proposito del meccanismo di protonazione.

Tutte queste reazioni avvengono in maniera sequenziale, in condizioni sempre più riducenti:

- 1) nella fase iniziale, i batteri anaerobi riducono l'ossigeno, utilizzandolo fino a consumarlo completamente;
- 2) successivamente, la specie NO_3^- (nitrato) viene utilizzata come accettore biochimico di elettroni da parte di altri batteri, che al termine del loro metabolismo escretano azoto;
- 3) la riduzione del Manganese ad opera di altri ceppi batterici ancora, può iniziare quando ancora è presente nitrato in soluzione;
- 4) la riduzione del Ferro, ad opera di anaerobi che facilitano il trasferimento di elettroni al Fe^{3+} come parte dei loro processi metabolici, segue solo dopo che il nitrato è stato consumato totalmente;
- 5) i batteri solfo-riduttori ricavano energia dalla riduzione della specie SO_4^{2-} (solfato);
- 6) infine, in condizione estreme, la sostanza organica può venire ridotta a metano.

Le condizioni riducenti che s'instaurano nei suoli e negli acquiferi promuovono la riduzione (cioè l'acquisizione di elettroni) delle forme ossidate del Ferro e del Manganese.

Semplificando al massimo, le reazioni di riduzione si possono scrivere come:



In genere, le specie ridotte di uno ione metallico sono anche piuttosto solubili e molto mobili; la specie Mn^{2+} è più facilmente solubile del Fe^{2+} .

In un acquifero freatico, a parità di ogni altra condizione fisico-chimica, la disponibilità di ossigeno dipende dalla profondità rispetto al piano campagna (per via della diminuita disponibilità di ossigeno disciolto) e i valori del potenziale redox sono attesi diminuire gradualmente con la profondità; in funzione di ciò, si instaurano quindi diversi processi redox, che a loro volta generano condizioni favorevoli alla dissoluzione in acqua di diverse specie ioniche.

Nella figura seguente è illustrata la sequenza di accettori di elettroni che è attiva al variare delle condizioni di ossidoriduzione.

Example Of The Range In Redox Potentials In Waterlogged Soils And The Location In The Redox Range Where The Various Electron Acceptors Are Active

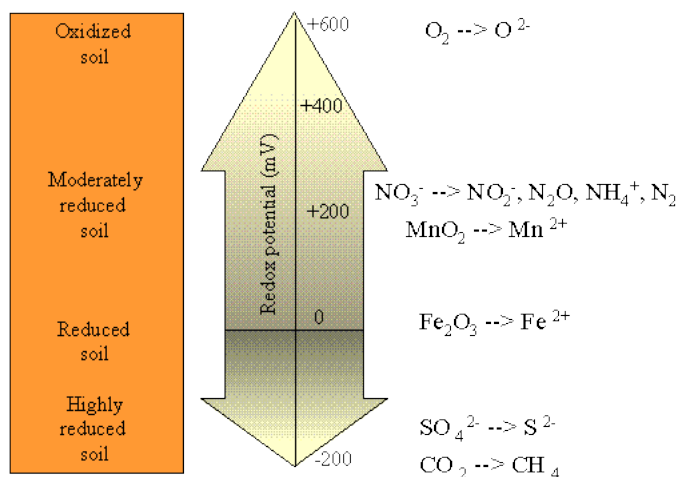


Figura 13 - Specie di elettroni-accettori attive al variare delle condizioni di ossidoriduzione.

L'effetto di queste sequenze redox sul chimismo delle acque sotterranee e la loro composizione, in linee del tutto generali, è illustrato nella figura seguente: all'instaurarsi di condizioni riducenti, inizia la mobilitazione prima del Manganese e successivamente del Ferro; il fenomeno si manifesta con l'aumento delle loro rispettive concentrazioni nelle acque di falda.

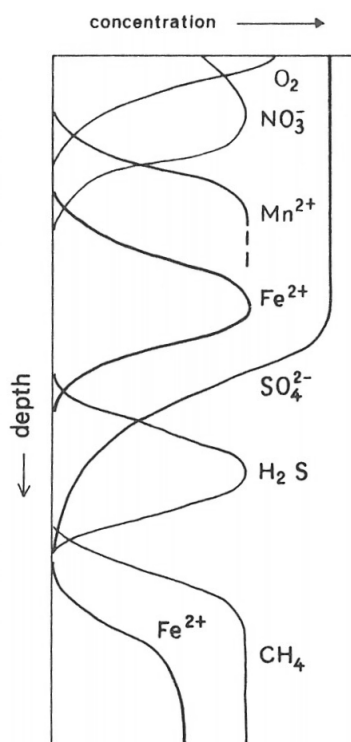


Figura 14 - Sequenza dei processi di riduzione ed effetti sulla composizione delle acque sotterranee

I processi chimici di ossido-riduzione hanno dunque una forte influenza sulla precipitazione e dissoluzione delle fasi solide del Ferro e del Manganese e, di conseguenza, sulla qualità delle acque sotterranee.

Oltre alle reazioni di riduzione/ossidazione viste sopra, i metalli possono partecipare a reazioni diverse quali dissoluzione/precipitazione e complessazione; in definitiva, quindi, le loro proprietà chimico-fisiche, come ad esempio la solubilità, sono determinate in maniera molto complessa da tutta una serie di parametri quali pH, temperatura e potenziale redox, oltre che dalla presenza di diverse forme chimiche organiche ed inorganiche.

3.3 Reazioni di ossidoriduzione del manganese e del ferro

Per ogni coppia di specie ioniche che partecipa ad una reazione di ossido-riduzione, il punto di equilibrio dipende dal valore locale del Potenziale Redox (una misura della disponibilità di elettroni nella soluzione acquosa) rispetto al potenziale standard della coppia (cioè al valore dell'attività degli elettroni al punto in cui entrambe le specie hanno attività unitaria).

Valori elevati del Potenziale Redox (Eh) favoriscono specie ossidate (povere di elettroni), mentre valori bassi di Eh favoriscono le specie ridotte (ricche di elettroni).

Un ambiente con Potenziale Redox elevato equivale a condizioni bene aerate, mentre bassi valori di Eh si instaurano quando l'ossigeno è stato esaurito.

Gli ioni acquosi Fe^{2+} e Mn^{2+} possono essere presenti in forma disciolta nelle acque solo in assenza di ossigeno; in condizioni ossidate (aerobiche) si formano ossidi insolubili di Fe^{3+} e $\text{Mn}^{3+}/\text{Mn}^{4+}$ la cui bassa solubilità limita la concentrazione massima in acqua delle due specie Ferro e Manganese.

Al decrescere del valore del Potenziale Redox, nella fase acquosa avviene uno scambio tra le specie Fe^{3+} e Fe^{2+} , in favore di quest'ultima.

La specie Mn^{2+} , o più precisamente lo ione acquoso $[\text{Mn}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$, è l'unico dominante ai normali valori ambientali di pH e Potenziali Redox e la sua idrolisi può cominciare solo per $\text{pH} > 10$, mentre la stabilizzazione di Mn^{3+} è possibile solo in presenza di forti complessanti.

La forza motrice che determina le trasformazioni tra le varie specie acquose di un metallo di transizione e le sue fasi solide viene schematizzata nei diagrammi pE/pH, che sono noti come diagrammi di Pourbaix.

Un punto sul diagramma rappresenta la specie termodinamicamente più stabile (e quindi in teoria più abbondante) per un elemento in una data condizione di pH e Potenziale Redox.

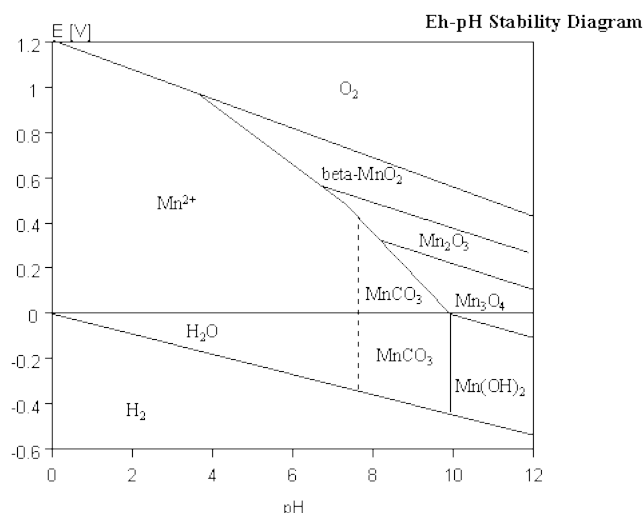


Figura 15 - Diagramma di stabilità del Manganese.

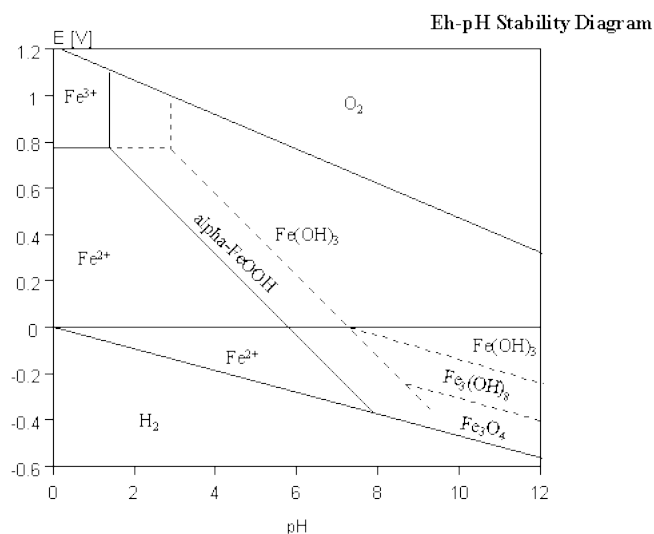


Figura 16 - Diagramma di stabilità del Ferro.

I diagrammi pE/pH sono utili per stabilire quali trasformazioni siano termodinamicamente favorite, ma va sottolineato che questi diagrammi di fase rappresentano condizioni di equilibrio e che non tengono conto della cinetica delle reazioni di trasformazione. Ad esempio la reazione di ossidazione del Mn^{2+} in presenza di ossigeno procede con una cinetica che è di almeno due ordini di grandezza più lenta della corrispondente del Fe^{2+} ; solo per $\text{pH} > 8$ la velocità di reazione diventa apprezzabile.

Inoltre, la interconversione tra diversi stati redox o tra stati fisici, anche se termodinamicamente favorita, è spesso molto lenta in assenza di un catalizzatore. E questo in particolare è ancora il caso della ossidazione di Mn^{2+} in soluzione in presenza di ossigeno che, anche a valori di pH superiori a 8, può richiedere anni.

4 TENORE DI MANGANESE, FERRO E SOLFATI NEI CAMPIONI DI ACQUA DI FALDA PRELEVATI

Le acque della falda acquifera superficiale prelevate dai piezometri PZ1 e PZ3 presso l'Impianto di Rossano Calabro, nel periodo compreso tra marzo 2012 e marzo 2013, hanno mostrato concentrazioni di Manganese superiori ai limiti previsti dal D.Lgs. 152/06 per le acque sotterranee. Il PZ1 ha mostrato inoltre il superamento dei limiti previsti D.Lgs. 152/06, per i parametri Ferro e Solfati, esclusivamente a marzo 2013.

Nella Tabella seguente sono riportate le concentrazioni dei parametri che hanno mostrato il superamento delle CSC definite dal D.Lgs 152/06 per le acque sotterranee.

	Ferro	Manganese	Solfati
<i>U.M.</i>	<i>[µg/l]</i>	<i>[µg/l]</i>	<i>[mg/l]</i>
CSC (D.Lgs. 152/2006)	200	50	250
Sigla piezometro	Marzo 2012		
PZ1	-	76	-
PZ3	-	1605	-
Sigla piezometro	Settembre 2012		
PZ1	-	116	-
PZ3	-	1642	-
Sigla piezometro	Marzo 2013		
PZ1	245	278	261
PZ3	-	1478	-

Tabella 5 - Sintesi dei superamenti delle CSC nelle acque sotterranee.
(Monitoraggio AIA: marzo 2012 ÷ marzo 2013)

I valori dei parametri pH, Ossigeno disciolto e Conducibilità elettrica, sono stati misurati in campo, utilizzando tecniche elettrometriche; la misura è stata eseguita direttamente in linea durante lo spurgo del piezometro, con elettrodi alloggiati in una cella di flusso.

I risultati della misura eseguita sono riportati nella Tabella seguente.

I valori di conducibilità elettrica sono riportati alla temperatura di 25°C.

Piezometro	pH	Conducibilità [μS/cm]	O ₂ disciolto [mg/l]	T [°C]
<i>Marzo 2012</i>				
PZ1	7,42	1.306	1,64	16,9
PZ3	6,74	1.182	0,44	19,0
<i>Settembre 2012</i>				
PZ1	6,77	2.250	1,04	22,7
PZ3	6,30	1.271	0,64	21,1
<i>Marzo 2013</i>				
PZ1	7,08	3.570	0,91	17,8
PZ3	6,58	1.226	0,22	19,5

Tabella 6 - Misure in campo dei parametri chimico – fisici.

Come è possibile osservare dalla Tabella di cui sopra, i campioni di acqua sono caratterizzati da:

- un valore medio di pH (compreso nel *range* di valori tipici per le acque sotterranee: 6,5 ÷ 8,5);
- un valore basso dell'ossigeno disciolto (ambiente riducente);
- un valore piuttosto alto di conducibilità elettrolitica.

I bassi valori di ossigeno disciolto indicano una condizione anossica e riducente delle acque di falda campionate.

In queste condizioni chimiche, per quanto asserito al paragrafo precedente, la presenza di Ferro e Manganese disciolti diventa un aspetto intrinseco del chimismo delle acque sotterranee del Bacino di Sibari.

Inoltre, si sottolinea che le maggiori concentrazioni di Manganese sono state rilevate nel piezometro PZ3, posto a monte idrogeologico del sito di Centrale, rispetto alla direzione prevalente di scorrimento delle acque di falda; ciò a conferma che la contaminazione da Manganese non sia imputabile all'impianto Enel. Pertanto, come per altro riportato nel PTA della Regione Calabria [1], la presenza diffusa di concentrazioni di **Ferro e Manganese** superiori alla CSC, è **quasi certamente riconducibile alla presenza di sostanze organiche nei sedimenti e nelle acque sotterranee**.

Come già in precedenza asserito, la presenza dei Solfati nelle acque di falda con concentrazioni superiori al limite di riferimento del D.Lgs. 152/06, può essere correlata al fenomeno dell'intrusione marina, per cui le acque di mare tendono ad infiltrarsi nelle falde acquifere. Tale fenomeno, che si manifesta in zone prossime alla linea di costa, determina la presenza di un cuneo salino, legato a differenze di densità tra le acque dolci e quelle salate. La posizione dell'interfaccia acqua dolce/salata varia nel tempo; a causa di eccessivi pompaggi, si può determinare un abbassamento della superficie piezometrica che determina un richiamo verso l'alto di acqua marina, ricca in anioni (cloruri, solfati e fluoruri, borati). In campo la presenza di tale fenomeno può essere facilmente riconosciuto misurando la conducibilità elettrolitica delle acque campionate.

La conducibilità elettrica in acqua di mare, che è per la maggior parte determinata dalla presenza di cloruri (in particolare il cloruro di sodio), si aggira attorno a 40.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, con variazioni che dipendono dalle differenze di salinità.

Il Boro è presente nell'acqua di mare con un tenore normale di circa 4.500 $\mu\text{g}/\text{L}$, sotto forma di anione borato.

Entrambi gli anioni cloruro e borato seguono un comportamento alquanto simile nel corso dell'infiltrazione di acqua di mare e sono considerati traccianti del fenomeno di intrusione salina; le concentrazioni di cloruri si rispecchiano nei valori di conducibilità, in misura pressoché proporzionale.

L'infiltrazione di acqua marina in una falda trasporta anche altri costituenti principali dall'acqua di mare, tra i quali: Solfati, il Sodio, il Calcio, il Magnesio.

Il piezometro PZ1, in corrispondenza del quale è stato osservato un superamento da Solfati nel marzo 2013, è posto in prossimità della linea di costa e mostra, rispetto ai restanti piezometri, i livelli più elevati dei seguenti parametri:

- Conducibilità Elettrica,
- Boro,
- Fluoruri,
- Calcio,
- Magnesio.

Nella Figura seguente è stata ricostruita la distribuzione delle misure di conducibilità elettrica effettuate, durante il campionamento delle acque di marzo 2013, nei piezometri denominati PZ1, PZ2 e PZ3. Come si può notare vi è un picco di conducibilità che interessa il piezometro PZ1, ubicato in prossimità della linea di costa.

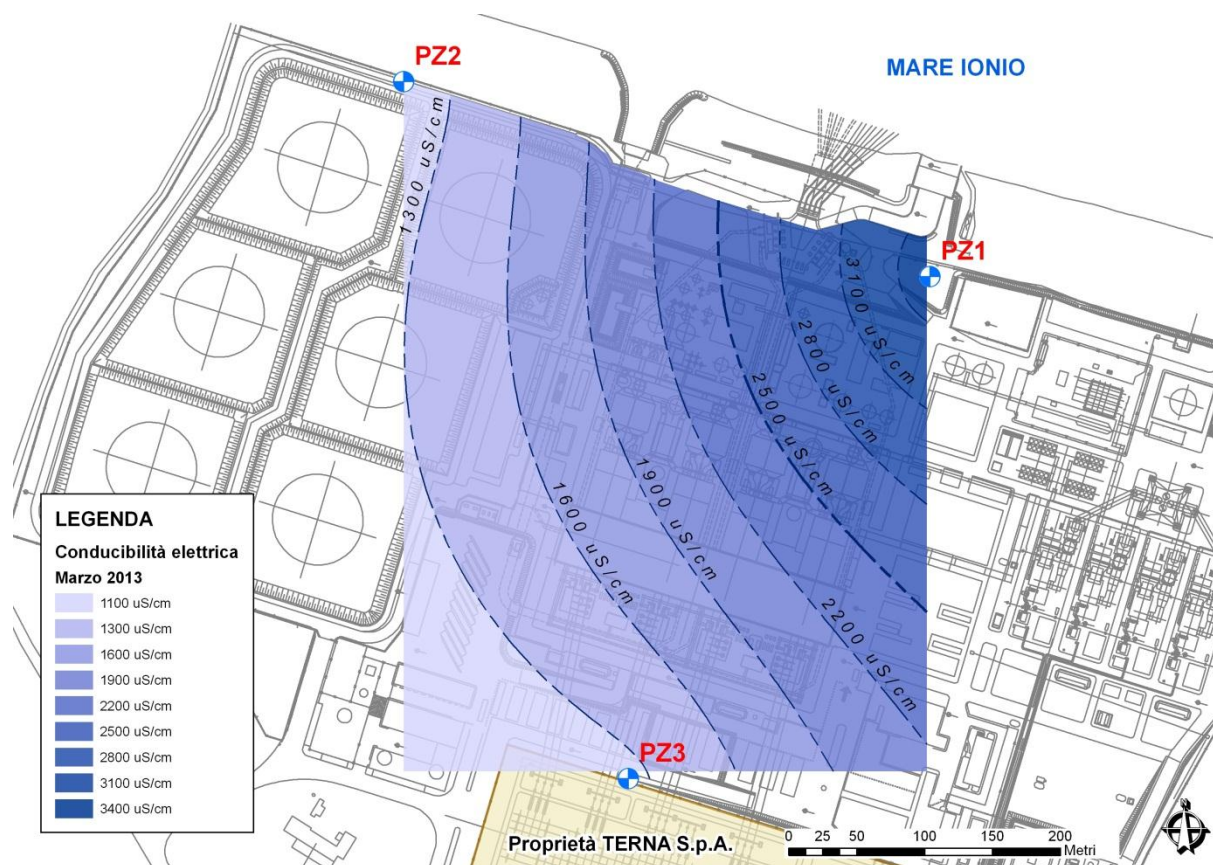


Figura 19 – Distribuzione della conducibilità elettrica nelle acque di falda.

La presenza dell'intrusione salina nella circolazione idrica sotterranea è confermata dalle misure effettuate (misure di conducibilità elettrica sulla linea di prelievo), anche se dalle stesse il fenomeno appare di piccola entità.

E' ragionevole quindi ipotizzare che il campione di acque di falda del piezometro PZ1 (ubicato in stretta prossimità alla linea di costa) sia influenzato dall'infiltrazione di acqua marina.

Il superamento della CSC per i Solfati, si può pertanto ritenere correlato all'intrusione di acqua di mare (nella quale il tenore normale di Solfati è di circa 2.500 mg/L).

5 CONCLUSIONI

Manganese e Ferro sono metalli ubiquitari e abbondanti, presenti anche nella matrice mineralogica dei terreni stessi. Essi possono essere mobilizzati in condizioni chimiche riducenti, quali spesso si determinano nei suoli e negli acquiferi in cui si abbia presenza di materiale organico.

Ciò è confermato dal Piano di Tutela della Regione Calabria [1], che riporta i risultati di 4 campagne di monitoraggio della qualità delle acque di falda, condotte, sui principali bacini idrogeologici della regione, nel periodo 2006÷2007.

Da quanto riportato nel Piano di Tutela, per il Bacino idrogeologico di Sibari, sia afferma che per la Piana di Sibari, limitatamente ai parametri di base (Ferro, Manganese, Cloruri, Ferro, Nitrati, Solfati e Ione Ammonio) si osservano fenomeni di inquinamento piuttosto diffusi, per i quali risultano responsabili molteplici parametri, tra cui, principalmente: particolari condizioni dell'acquifero che causano la presenza nelle acque sotterranee di arricchimenti in H_2S , CO_2 , S, CH_4 e cloruri, legati alla presenza di sostanze organiche; la forte pressione antropica dell'area della Piana di Sibari per la presenza di attività agricole, attività zootecniche, turistiche e di un'elevata densità abitativa, in generale, che ha provocato un accentuato inquinamento microbiologico, e quindi la conseguente presenza di sostanza organica anche nelle acque di falda.

La presenza di materiale organico nei sedimenti e nelle acque di falda, può provocare l'instaurarsi di condizioni chimiche riducenti, che favoriscono la solubilità del Ferro e del Manganese, che in tali condizioni possono essere mobilizzati andando ad arricchire le soluzioni con cui, i minerali contenenti Ferro e Manganese, sono venuti a contatto.

In tali condizioni, Ferro e Manganese non possono essere considerati contaminati la cui origine è direttamente correlabile alle attività produttive della Centrale, ma bensì da mettersi in relazione a particolari contesti idrochimici afferenti l'acquifero del Bacino idrogeologico di Sibari, all'interno del quale ricade l'impianto Enel in esame.

Per quanto discusso nei paragrafi precedenti, la presenza di Ferro e Manganese disciolto nei campioni di acqua di falda prelevati dai piezometri, denominati PZ1 e PZ3, appare quindi del tutto giustificata in termini chimici e termodinamici.

Inoltre, la presenza di concentrazioni di Solfati eccedenti i limiti di riferimento del D.Lgs. 152/06 per le acque sotterranee, nel piezometro PZ1 a marzo 2013, è da correlare al fenomeno dell'intrusione marina. Tale fenomeno, ricorrente nelle zone poste in prossimità della costa, è confermato da quanto riportato dal Piano di Tutela della Regione Calabria [1], che evidenzia come un elemento di degrado qualitativo delle falde situate in prossimità della costa sia rappresentato dall'intrusione salina. Ciò è conseguenza diretta dell'eccessivo sfruttamento delle falde, che determina un richiamo verso l'alto di acqua marina, ricca in anioni quali cloruri, solfati e fluoruri.

La presenza di tale fenomeno può essere facilmente verificato mediante misure della conducibilità elettrica delle acque campionate, che è per la maggior parte determinata dalla presenza dei cloruri. L'infiltrazione di acqua marina in una falda trasporta anche altri costituenti principali dall'acqua di mare, tra i quali: Boro, Solfati, Sodio, Calcio, Magnesio.

Il piezometro PZ1, in corrispondenza del quale è stato osservato un superamento da Solfati, è posto in prossimità della linea di costa e mostra, rispetto ai restanti piezometri, i livelli più elevati dei parametri: Conducibilità Elettrica, Boro, Fluoruri, Calcio e Magnesio.

In definitiva quindi, la presenza di Ferro e Manganese, nelle acque sotterranee del sito della C.le Enel di Rossano Calabro è da considerarsi l'espressione di condizioni locali più o meno naturali, che provocano un diffuso inquinamento delle acque di falda della Piana di Sibari e, quindi, non imputabile all'impianto, ma piuttosto riconducibile alla presenza di sostanze organiche nei sedimenti e nelle acque sotterranee (ad esempio presenza di sostanze organiche nei sedimenti fluviali e fluvio-lacustri, quali torba o presenza di sostanza organica per cause di origine antropica).

Inoltre, la presenza di Solfati nelle acque sotterranee del sito della C.le Enel di Rossano Calabro sembrerebbe imputabile a fenomeni d'ingressione marina, in relazione alla vicinanza dell'impianto alla linea di costa.

6 BIBLIOGRAFIA

[1] Regione Calabria - Dipartimento per il Coordinamento della Protezione Civile – Commissario Delegato per l’Emergenza Ambientale - *Piano di Tutela della Regione Calabria (PTA)* – 2009. Disponibile on-line al seguente link:
http://www.regione.calabria.it/ambiente/index.php?option=com_content&task=view&id=294&Itemid=104

[2] Regione Calabria (Assessorato Politiche dell’Ambiente) – A.R.P.A. Calabria – *Calabria - Rapporto sullo Stato Ambientale* – 2007. Disponibile on-line al seguente link:
<http://www.regione.calabria.it/mwg-internal/de5fs23hu73ds/progress?id=tLowXyHCD2>

[3] SGI S.r.l., 1990. *Relazione geologica* n. 4198/15.

[4] ISMES, 1990. Documento RTF-DTA-018.