

# *«Lo stato ambientale del Sito di Interesse Nazionale di Livorno»*

*Percorsi d'Ambiente*

*La gestione dei Siti Contaminati nel Comune di Livorno*

*Livorno 24 Ottobre 2024*

*Ing. Federico Mentessi*

*Responsabile del SST del Dipartimento ARPAT di Livorno*

## SIN (art. 252 del D.Lgs. 152/06)

I Siti di Interesse Nazionale (**SIN**) sono estese porzioni del territorio nazionale, **individuati per legge**, ai fini della bonifica, **in base a caratteristiche (di contaminazione e non solo) che comportano un elevato rischio sanitario ed ecologico** in ragione della densità della popolazione o dell'estensione del sito stesso, nonché un rilevante impatto socio-economico e un rischio per i beni di interesse storico-culturale.

All'**individuazione dei SIN**, avvenuta a partire dal 1998, provvede con proprio decreto il Ministro dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (ora MASE) d'intesa con le Regioni interessate, **secondo i principi e i criteri direttivi definiti all'art. 252, comma 2, del D. Lgs. 152/06**.

Uno dei requisiti (dal 2012) per individuare SIN è l'**insistenza, attualmente o in passato, di attività di raffinerie**, di impianti chimici integrati o di acciaierie.

Ai fini della **perimetrazione** di dettaglio di ciascun SIN sono sentiti i Comuni, le Province, le Regioni e gli altri enti locali, assicurando la partecipazione dei responsabili nonché dei proprietari delle aree da bonificare, se diversi dai soggetti responsabili.

Nel 2012 è stata effettuata una ricognizione degli allora 57 siti classificati come SIN, riducendone il numero complessivo a 39.

Successivamente, c'è stato il reinserimento tra i SIN del territorio del bacino del Fiume Sacco, sono stati individuati il SIN Officina Grande Riparazione ETR di Bologna ed il SIN dell'Area vasta di Giugliano (NA).

**Ad oggi risultano individuati 42 SIN**, per una superficie cumulata che costituisce circa il 6 per mille del territorio nazionale (circa 170.000 ettari totali a terra e circa 78.000 ettari a mare).

**La procedura di bonifica dei SIN è attribuita alla competenza del MASE** (Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica) **che si avvale per l'istruttoria tecnica del SNPA** (Sistema Nazionale a rete per la Protezione dell'Ambiente) e dell'ISS.



**Siti di interesse nazionale rimasti  
di competenza Ministero Ambiente**

- 1 Venezia (P. Marghera) D.M. 386/2016
- 2 Napoli Orientale L. 426/98
- 3 Gela L. 426/98
- 4 Priolo L. 426/98
- 5 Manfredonia L. 426/98
- 6 Brindisi L. 426/98 - D.M. 07/05/2024
- 7 Taranto L. 426/98
- 8 Cengio e Saliceto L. 426/98
- 9 Piombino L. 426/98
- 10 Massa e Carrara L. 426/98
- 11 Casal Monferrato L. 426/98
- 12 Balangero L. 426/98
- 13 Pieve Vergonte L. 426/98
- 14 Sesto San Giovanni L. 388/2000
- 15 Pioltello - Rodano L. 388/2000 D.M. 16/04/2024

- 16 Napoli Bagnoli - Coroglio L. 388/2000
- 17 Tito D.M. 468/2001, D.M. 27/10/2023
- 18 Crotone - Cassano - Cerchiara D.M. 304 del 09/11/2017
- 19 Fidenza D.M. 468/2001 - D.M. 03/06/2024
- 20 Caffaro di Torviscosa D.M. 81/2017
- 21 Trieste D.M. 25/2018, D.M. 95 del 16/03/2021
- 22 Cogoleto D.M. 468/2001 - D.M. 12/04/2024
- 23 Bari D.M. 468/2001
- 24 Sulcis D.M. 304/2016
- 25 Biancavilla D.M. 468/2001
- 26 Livorno D.M. 468/2001, D.M. 133 del 10/08/2021
- 27 Terni D.M. 468/2001 - D.M. 12/04/2024
- 28 Emarese D.M. 177/2016
- 29 Trento nord D.M. 468/2001
- 30 Brescia Caffaro L. 179/2002, D.M. 110 del 10/05/2021
- 31 Broni L. 23/2018
- 32 Falconara Marittima L. 179/2002
- 33 Serravalle Scivia L. 179/2002
- 34 Laggi di Mantova L. 179/2002
- 35 Orbetello (area ex SITOCO) L. 179/2002
- 36 Porto Torres L. 179/2002
- 37 Val Basento L. 179/2002
- 38 Milazzo L. 266/05
- 39 Bussi sul Tirino D.M. 49 del 27/01/2021
- 40 Bacino del fiume Sacco D.M. 321/2016
- 41 Officina Grande Riparazione ETR di Bologna L.205/2017
- 42 Area vasta di Giugliano legge 11 settembre 2020, n. 120

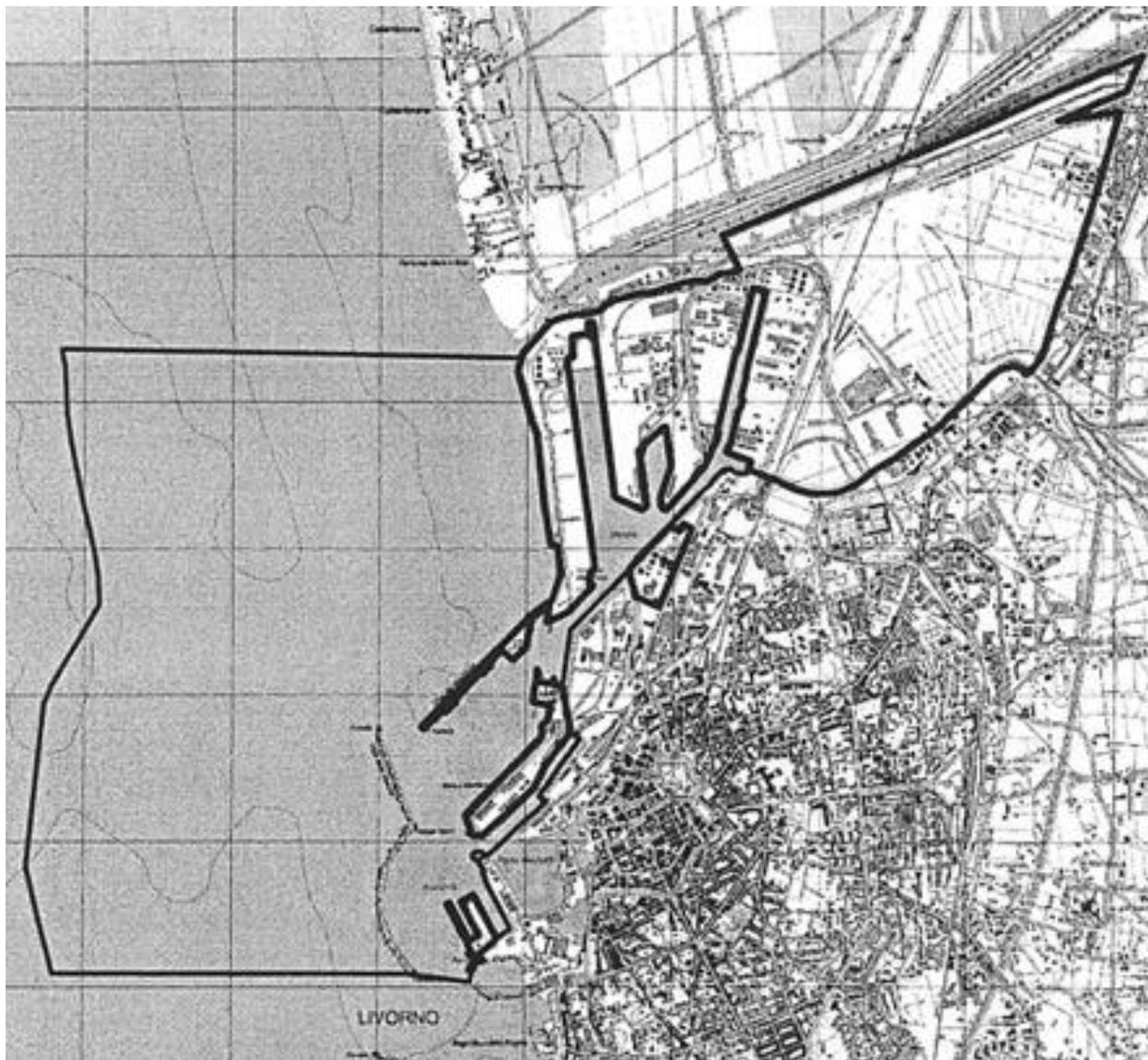
**Siti di interesse nazionale divenuti  
di competenza regionale**

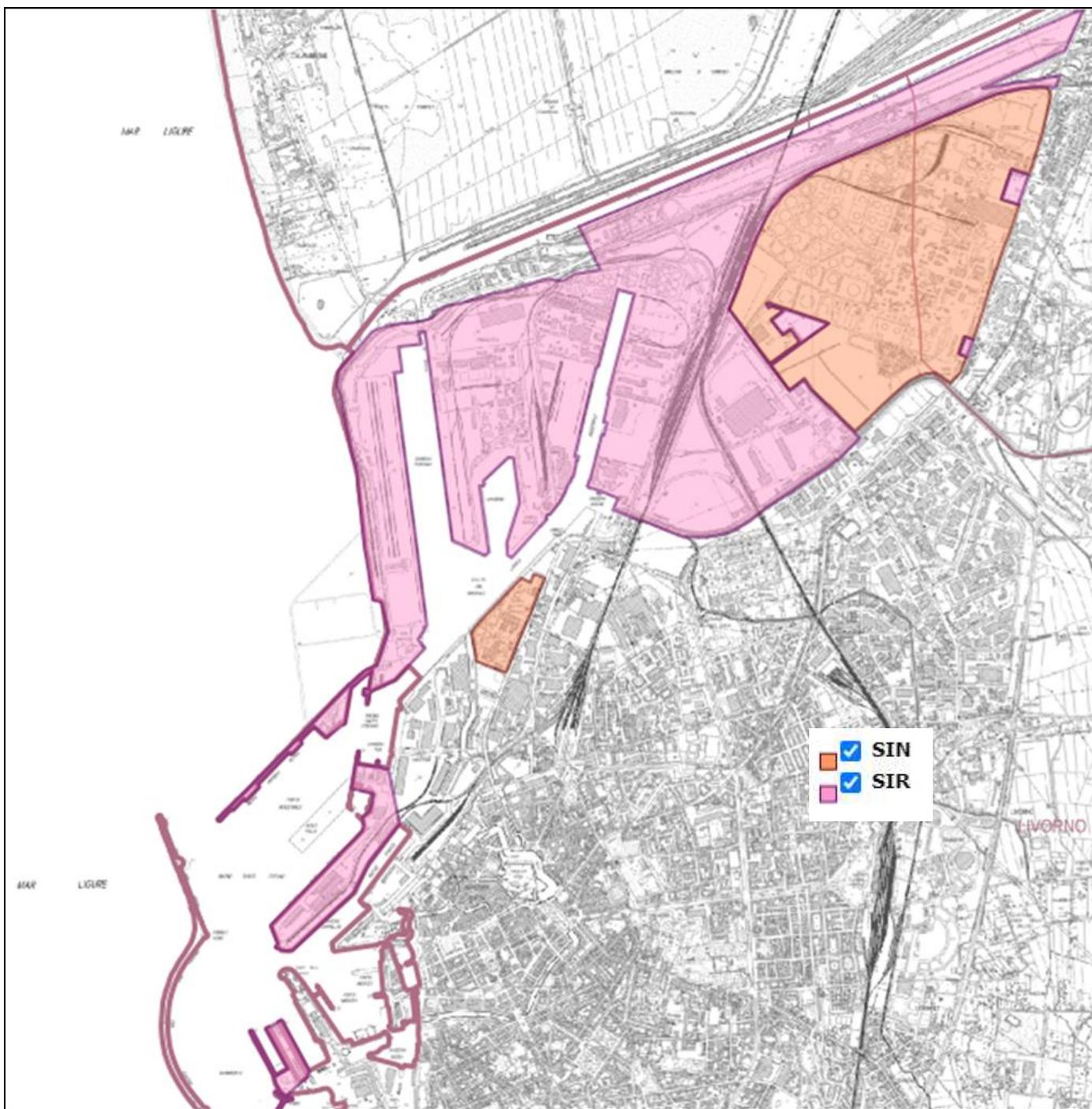
- 43 Pitelli L. 426/98
- 44 Fiumi Saline e Alento D.M. 468/2001
- 45 Sassuolo D.M. 468/2001
- 46 Frosinone D.M. 468/2001
- 47 Milano - Bovisa D.M. 468/2001
- 48 Cerro al Lambro D.M. 468/2001
- 49 Basso bacino del fiume Chienti D.M. 468/2001
- 50 Campobasso - Gugliesi II D.M. 468/2001
- 51 Basse di Stura (Torino) D.M. 468/2001
- 52 Mardimago - Ceregnano D.M. 468/2001
- 53 Bolzano D.M. 468/2001
- 54 Aree del Litorale Vesuviano L. 179/2002
- 55 Litorale Domizio Flegreo e A.A. L. 426/98
- 56 Bacino Idrografico del fiume Sarno L. 266/05
- 57 Strillaie D.Lgs. 152/06
- 58 Pianura D.M. Ambiente 11/04/08
- 59 La Maddalena

## SIN di Livorno

- **DM 18 settembre 2001 n.468** inserisce Livorno nel “Programma nazionale di bonifica e ripristino ambientale” quale ulteriore sito di interesse nazionale.
- **DM 24 febbraio 2003 definisce la perimetrazione del SIN di Livorno.** Il SIN era delimitato a Nord dalla bancata in destra idraulica del Canale dello Scolmatore, ad Est dall'abitato di Stagno (Comune di Collesalvetti), a Sud dal Torrente Ugione e dalla linea di costa ed a Ovest dal mare. La superficie complessiva del SIN ammontava a circa 20,247 km<sup>2</sup>, suddivisi 14,331 km<sup>2</sup> marini e di acque interne e 5,916 km<sup>2</sup> continentali.
- **DM 22 maggio 2014 n.147 limita il perimetro del SIN alle seguenti aree a terra: centrale termoelettrica ENEL e Raffineria ENI;** nonché alle aree marino-costiere ubicate all'esterno delle dighe foranee.
- **DM 17 novembre 2021 limita il perimetro del SIN alle sole aree a terra.**

## Perimetrazione del SIN di Livorno (DM 24 febbraio 2003)





## Stato Ambientale – alcuni concetti

Le matrici ambientali interessate nei procedimenti di bonifica sono il **suolo**, i materiali di riporto (dal 2012), il **sottosuolo** e le **acque sotterranee**.

Nell'Allegato 2 alla Parte IV Titolo V del D.Lgs.152/06 si specifica che **la caratterizzazione dei terreni è concentrata sulla zona insatura**, secondo il seguente criterio:

- campione 1: da 0 a -1 m dal p.c. (**Suolo Superficiale**);
- campione 2: comprende la zona di frangia capillare (**Suolo Profondo**);
- campione 3: nella zona intermedia tra i due precedenti (**Suolo Profondo**).

**Zona satura → caratterizzazione delle acque sotterranee**

Sulla base della normativa si parla di:

- Sito **potenzialmente contaminato**, in caso di **superamento delle CSC**
- Sito **contaminato**, in caso di **superamento delle CSR** determinate mediante l'applicazione dell'**Analisi di Rischio (AdR)**

## Cataterizzazione SIN di Livorno

Ubicazione punti indagine può essere di tipo:

«**ragionato**» sulla base delle informazioni a disposizione sul sito;

«**sistematico**» sulla base di una griglia predefinita.

Si tiene conto della diversità tra **aree dismesse e/o libere da impianti e aree occupate da impianti.**

Punti di indagine:

- **un sondaggio ogni 2500 mq** (maglia 50x50 m);
- **un piezometro ogni 10000 mq** (maglia 100x100 m).

ENI → 728 sondaggi e 182 piezometri

ENEL → 46 sondaggi e 12 piezometri

(in realtà ENEL ha poi realizzato 63 piezometri interni al sito e 12 esterni !!! )

**Le indagini di caratterizzazione** eseguite nelle aree SIN **hanno evidenziato una situazione di rilevante inquinamento nei terreni e nelle acque di falda.**

In particolare, sono stati riscontrati: **Alifatici Clorurati Cancerogeni**, **Idrocarburi leggeri e pesanti**, MTBE, BTEXS.

Per l'area Enel, sono state approvate con Decreto le Analisi di Rischio relative ai terreni e alle acque di falda; è stato poi approvato con Decreto il progetto di bonifica dei terreni.

Per l'area Eni, è in fase decisoria la valutazione dell'Analisi di Rischio (terreni e falda) e del Progetto di Messa in Sicurezza Operativa delle acque di falda.

## Esecuzione sondaggio ambientale



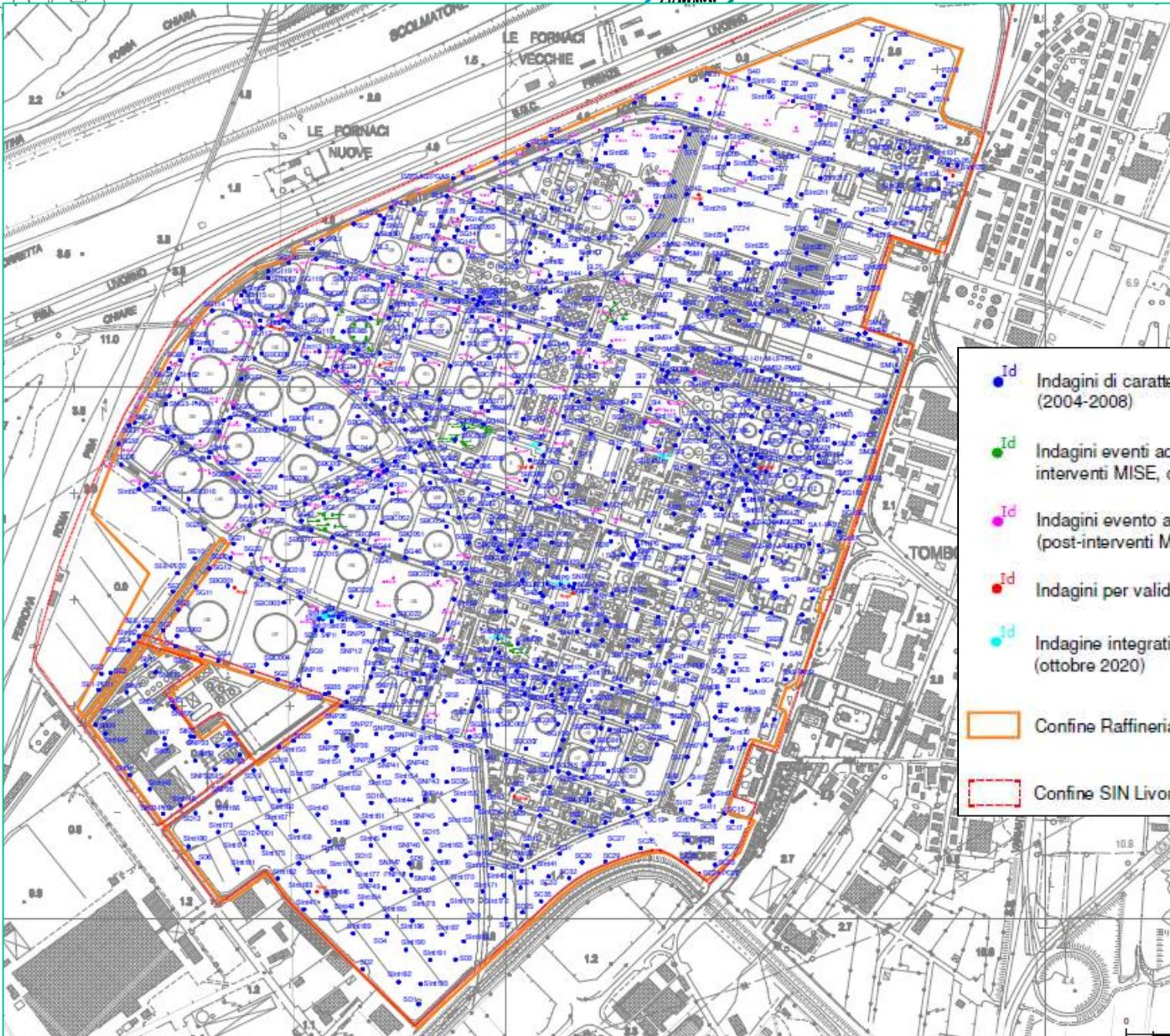
Cassetta catalogatrice con carote di terreno estratte da sondaggio

## Sito Raffineria ENI Spa (codice LI074)

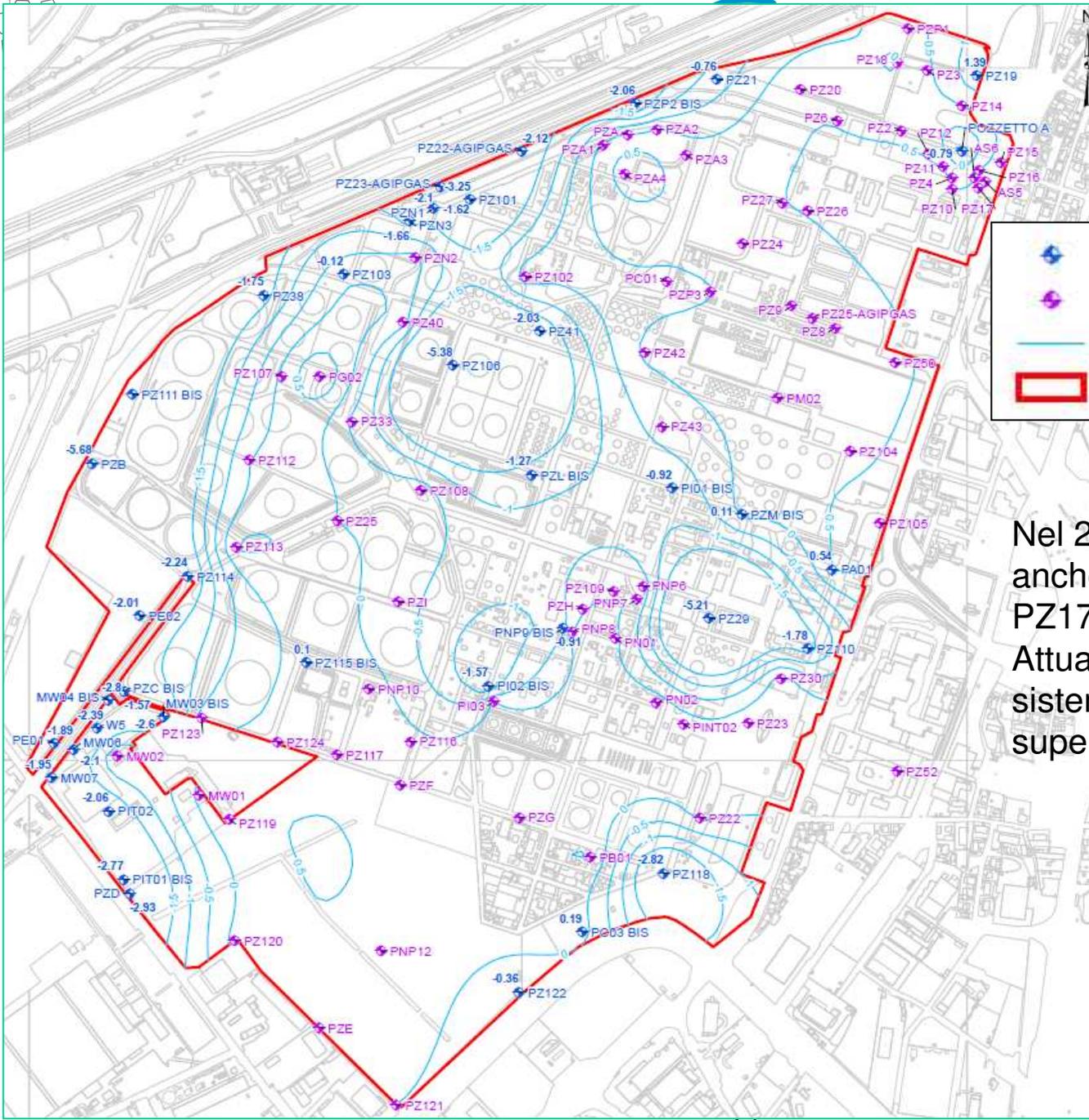
L'area complessiva dell'insediamento produttivo è pari a circa 182 ha.

Stato procedimento:

- 2004: approvazione del PdC da parte del MATTM;
- 2005-2008 esecuzione della caratterizzazione ambientale del sito e delle indagini integrative per l'adeguamento al D.Lgs. 152/06;
- 2009 presentazione dell'AdR, oggetto negli anni di numerose integrazioni/revisioni a seguito delle richieste della CdS – **attualmente l'AdR (integrazione 2023) deve essere ancora approvata da MASE.**
- 2017 presentazione del **progetto di MISO delle acque sotterranee**, sulla base del modello idrogeologico numerico del sito, valutato positivamente da ISPRA e ARPAT – **deve essere approvato da MASE (dopo l'AdR).**

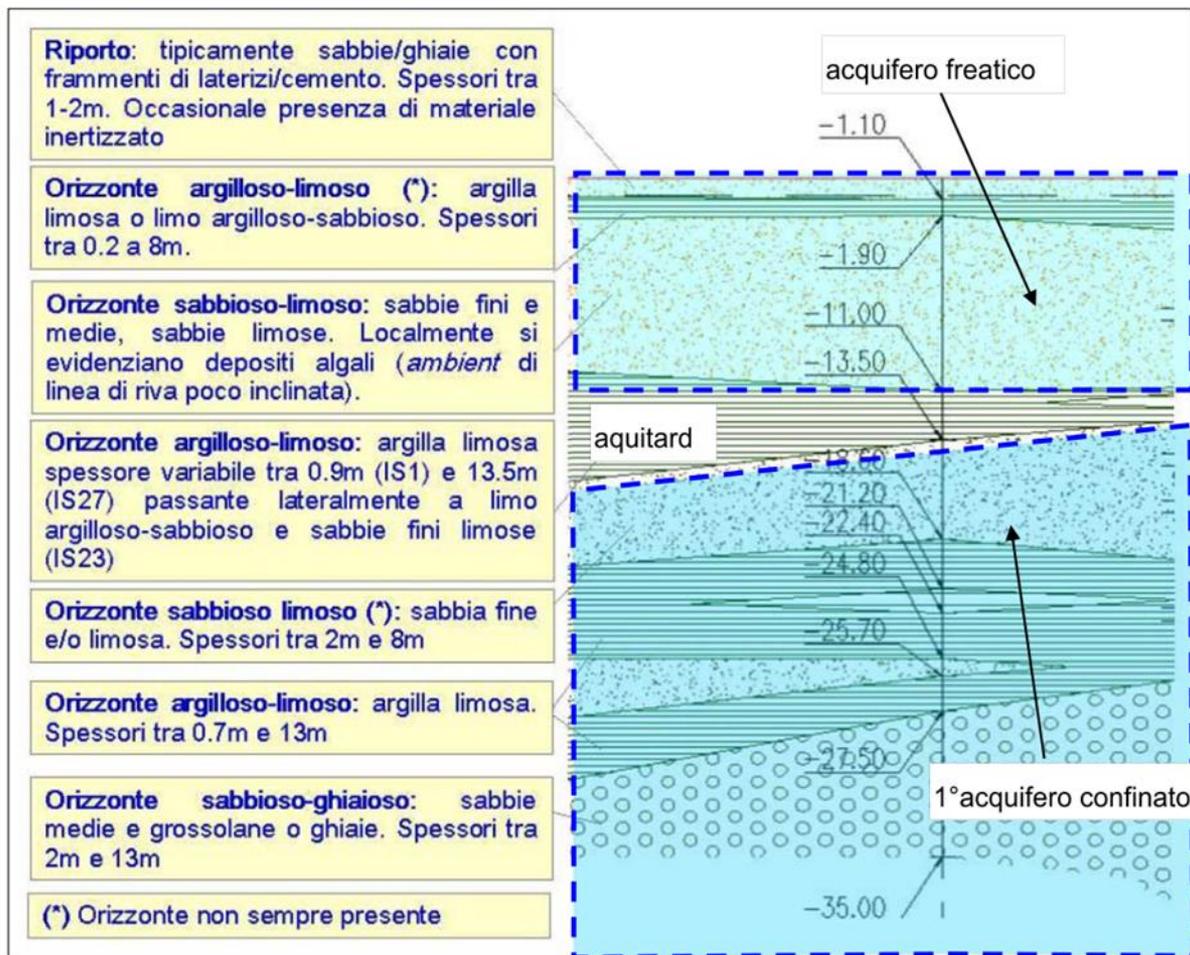


- Id Indagini di caratterizzazione ambientale (2004-2008)
- Id Indagini eventi accidentali (collaudo scavi, interventi MISE, caratterizzazione)
- Id Indagini evento alluvionale 11/07/2017 (post-interventi MISE)
- Id Indagini per validazione fingerprint (2018)
- Id Indagine integrativa terreni insaturi profondi (ottobre 2020)
- ▭ Confine Raffineria
- ▭ Confine SIN Livorno



-  Piezometro in MISE e quote (m s.l.m)
-  Piezometro non in MISE
-  Linee piezometriche e quote (m s.l.m)
-  Confine Raffineria

Nel 2023 attrezzati a MISE anche i piezometri PZ11, PZ17 e PZ42.  
Attualmente in esercizio 45 sistemi di MISE per la falda superficiale.



Dal punto di vista idrogeologico sono stati individuati:

**acquifero superficiale**, nei depositi sabbioso-limosi (spessore medio 10-12 m);

**livello argilloso di separazione tra acquifero superficiale e profondo** (spessore medio 4-5 m);

**acquifero profondo multistrato semiconfinato**, nei depositi limoso-sabbiosi, intervallati da lenti argillose e da livelli ghiaiosi (spessore medio circa 20 m).

**L'idrogeologia della zona è condizionata dalla presenza di un fitto reticolo idrografico superficiale** che circonda lo

stabilimento: Torrente Ugione a sud, Fosso Capannone, Fosso Enriquez ad ovest e sud-ovest, Fosso Torretta Inferiore, Fosso Acqua Salsa (Antifosso Acque Chiare), Scolmatore d'Arno a nord e Fosso Cateratto ad est.

## Falda superficiale

La falda idrica superficiale, seppur caratterizzata da una discreta disarticolazione della freaticimetria, presenta un limite di alimentazione in corrispondenza del confine Est dello stabilimento, ovvero lungo il Fosso del Cateratto, ed un limite di uscita lungo il confine Sud-Ovest, con un gradiente idraulico estremamente basso (mediamente pari a 0,0015).

Come indicato nel modello numerico di flusso di giugno 2016, la disarticolazione della falda superficiale è probabilmente legata ai seguenti fattori:

- effetto degli emungimenti dei piezometri in MISE;
- effetto delle maree;
- non sincronità delle misure di campo;
- alimentazione/drenaggio delle reti sotterranee presenti all'interno dello stabilimento (canali vestigiali).

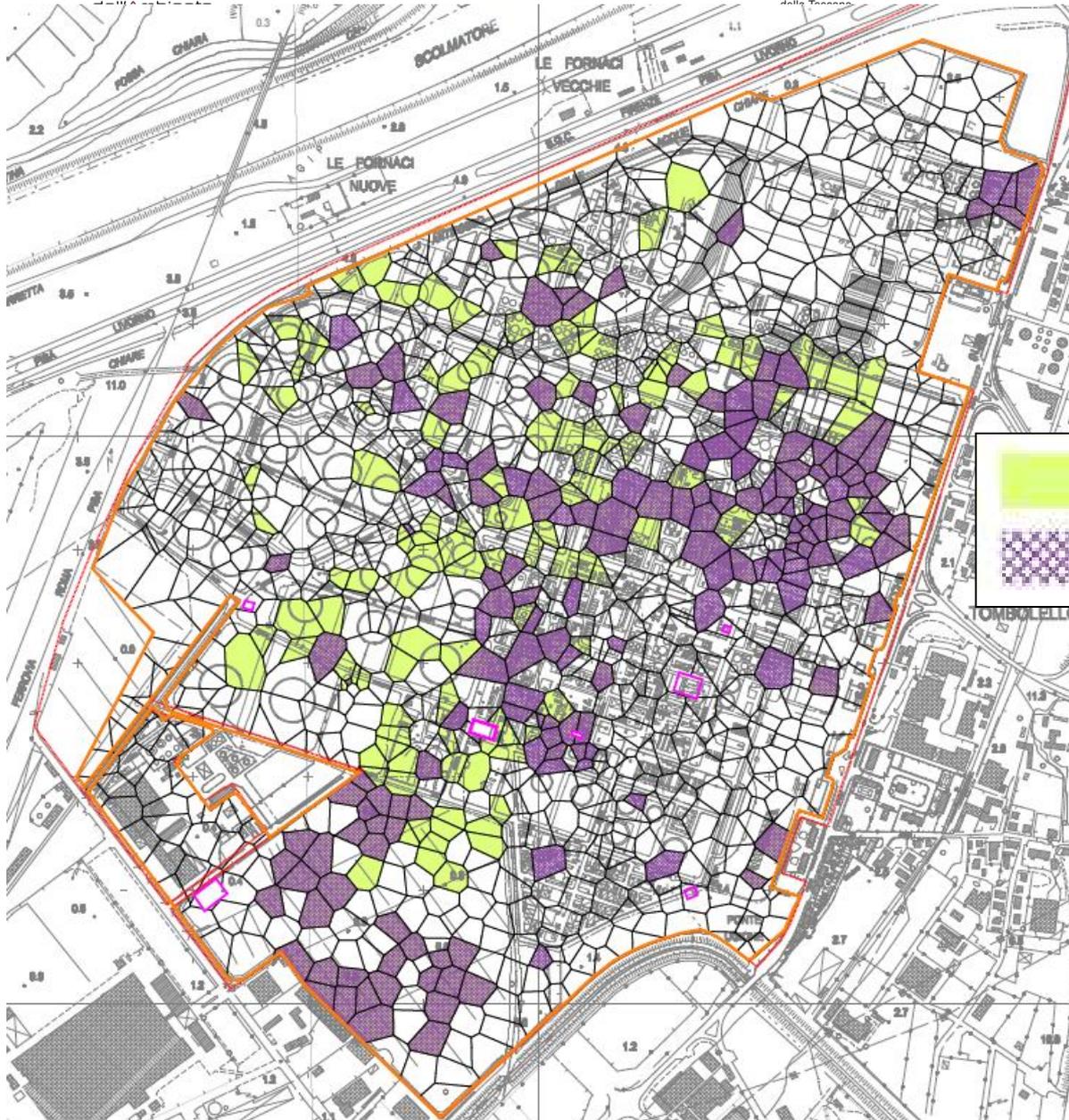
È inoltre presente un basso piezometrico, ovvero un'area isolata orientata circa Nord-Ovest/Sud-Est al centro dello stabilimento, probabilmente ascrivibile alla presenza di canali vestigiali che, se pur interrati, potrebbero ancora costituire dei drenaggi della falda superficiale.

## Contaminazione Terreni

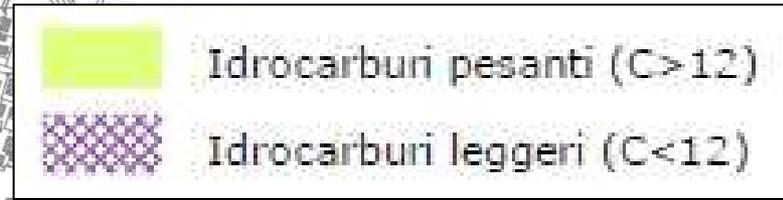
La contaminazione dei suoli è dovuta ai parametri **idrocarburi leggeri C<12**, **idrocarburi pesanti C>12**, MTBE, idrocarburi aromatici, IPA, Metalli (As, Cr tot, Cd, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn), Piombo Alchili; *i superamenti delle CSC più rilevanti sono stati determinati per gli idrocarburi leggeri C<12, gli idrocarburi pesanti C>12 e gli idrocarburi aromatici.*

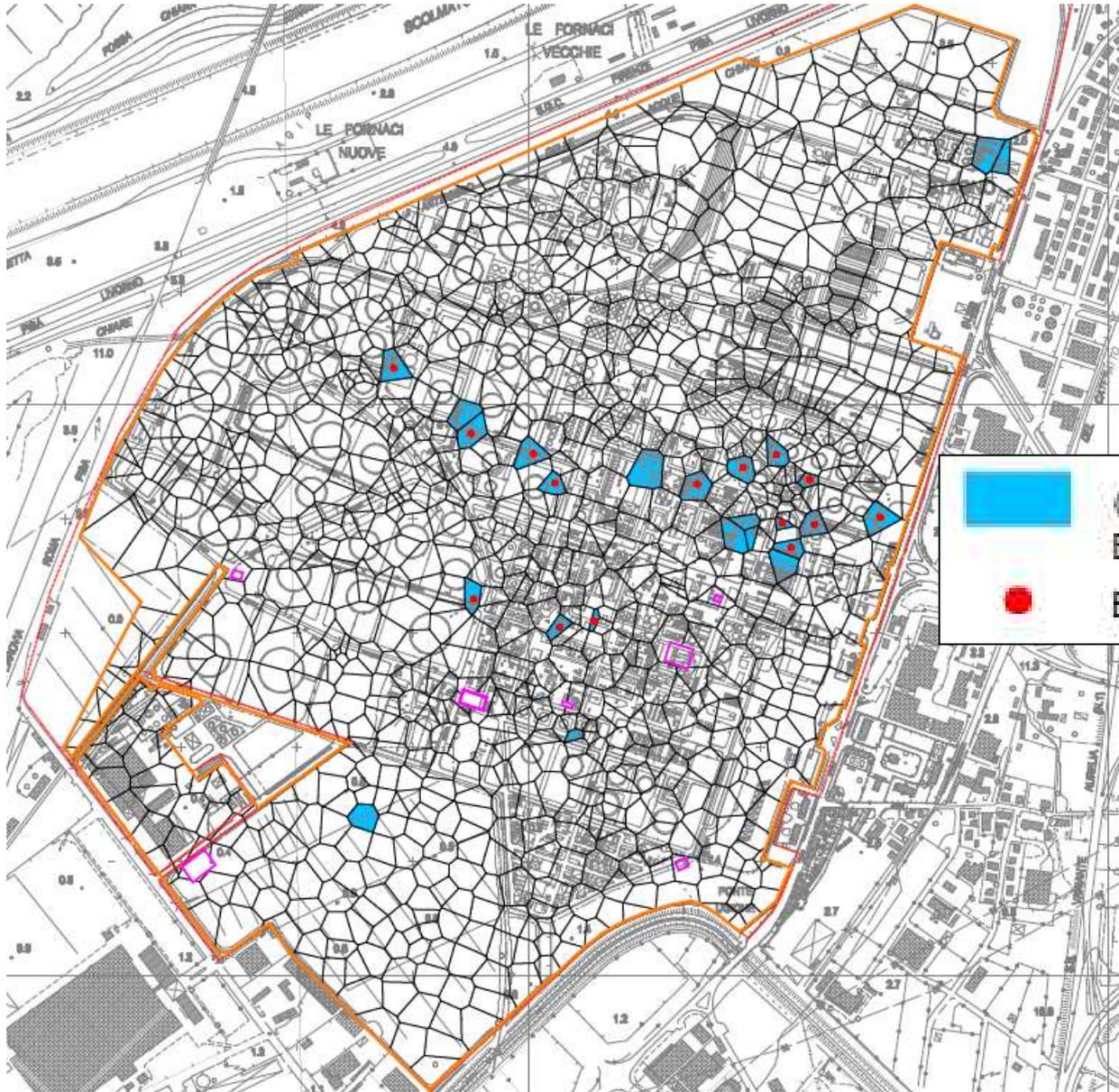
## Contaminazione Acque Sotterranee

La contaminazione della falda superficiale è dovuta ai parametri **idrocarburi totali**, MTBE, **idrocarburi aromatici**, composti organoclorurati, As, Ni, Hg, Fluoruri; *i superamenti delle CSC più rilevanti sono stati determinati per gli idrocarburi totali, gli idrocarburi aromatici e MTBE.*

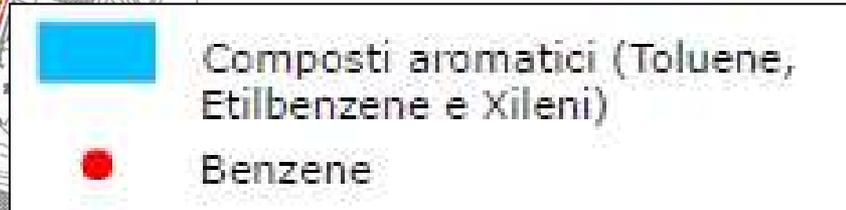


Superamenti CSC per  
Idrocarburi leggeri e pesanti  
nei suoli superficiali (0-1 m)

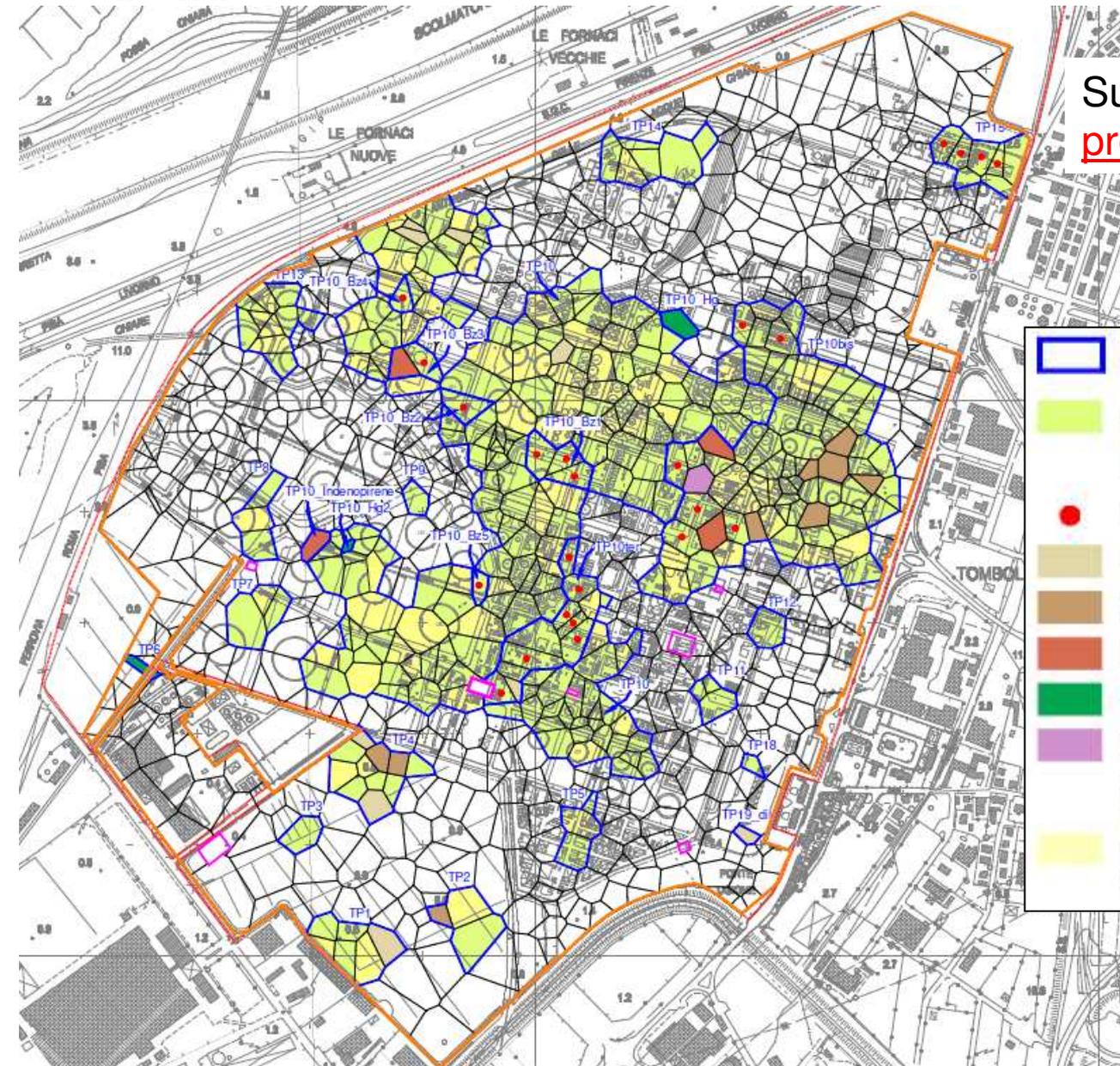




Superamenti CSC per  
Idrocarburi Aromatici  
nei suoli superficiali (0-1 m)



## Superamenti CSC nei suoli profondi (1-2 m)



	Aree sorgenti
	Idrocarburi C<12, C>12; TEX (Toluene, Etilbenzene, Xilene); MBTE e Metalli
	Benzene
	Metalli non Volatili
	Piombo alchili
	IPA (Crisene)
	Mercurio
	Composti alifatici clorurati non cancerogeni (1,2-dicloropropano 1,1,2-tricloroetano 1,1,2,2-tetracloroetano)
	Poligoni inclusi nelle sorgenti con analisi vicinato

I risultati dell'AdR evidenziano rischi per i lavoratori on site dovuti ai percorsi di esposizione di inalazione di vapori in ambienti indoor e outdoor.

Tali rischi sono associati ai contaminati volatili (Idrocarburi leggeri  $C < 12$ , BTEXS) e non agli Idrocarburi pesanti  $C > 12$ .

ENI, come previsto dalle LG SNPA n,17/2018 («*Procedura operativa per la valutazione e l'utilizzo dei dati derivanti da misure di gas interstiziali nell'analisi di rischio dei siti contaminati*»), ha effettuato diversi **monitoraggi del soil gas e dell'aria indoor, tramite flux chamber, vapor pin e campionatori ambiente, per verificare i risultati dell'AdR.**

**I risultati dei monitoraggi effettuati sul soil gas evidenziano l'assenza di rischio per i lavoratori on site.**

I risultati dell'AdR evidenziano rischi per le acque sotterranee dovuti ai percorsi di lisciviazione della contaminazione dai terreni e trasporto verso il POC (Punto di Conformità).

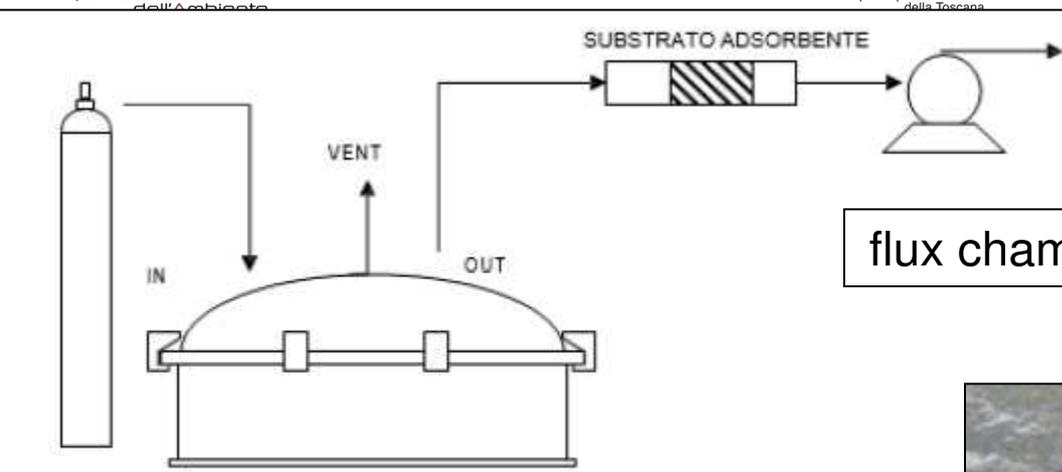
**ENI ha presentato progetto per sistema di MISO delle acque sotterranee. Attualmente ENI gestisce tale criticità con un sistema di MISE.**

Sono stati richiesti dal MASE approfondimenti di indagine ed interventi sui terreni in cui sono state determinate le concentrazioni più alte di idrocarburi pesanti C>12 (**superamenti della concentrazione di saturazione residua**).

Un idrocarburo fluido in fase libera diventa mobile, e può percolare verso il basso, solo quando la sua quantità supera la capacità di assorbimento meccanico macroscopico (“da spugna”) del suolo. Tale quantità viene denominata “saturazione residua”.

L'ordine di grandezza in termini di concentrazione della saturazione residua per i composti idrocarburi è delle migliaia di mg/Kg.

Composti idrocarburi	Saturazione residua [mg/Kg]			
	ghiaia grossolana	ghiaia e sabbia grossolana	Sabbia	Limi e argille
Idrocarburi C ≤ 12	1000	1700	3400	10000
Idrocarburi C > 12	2000	3900	7700	22800



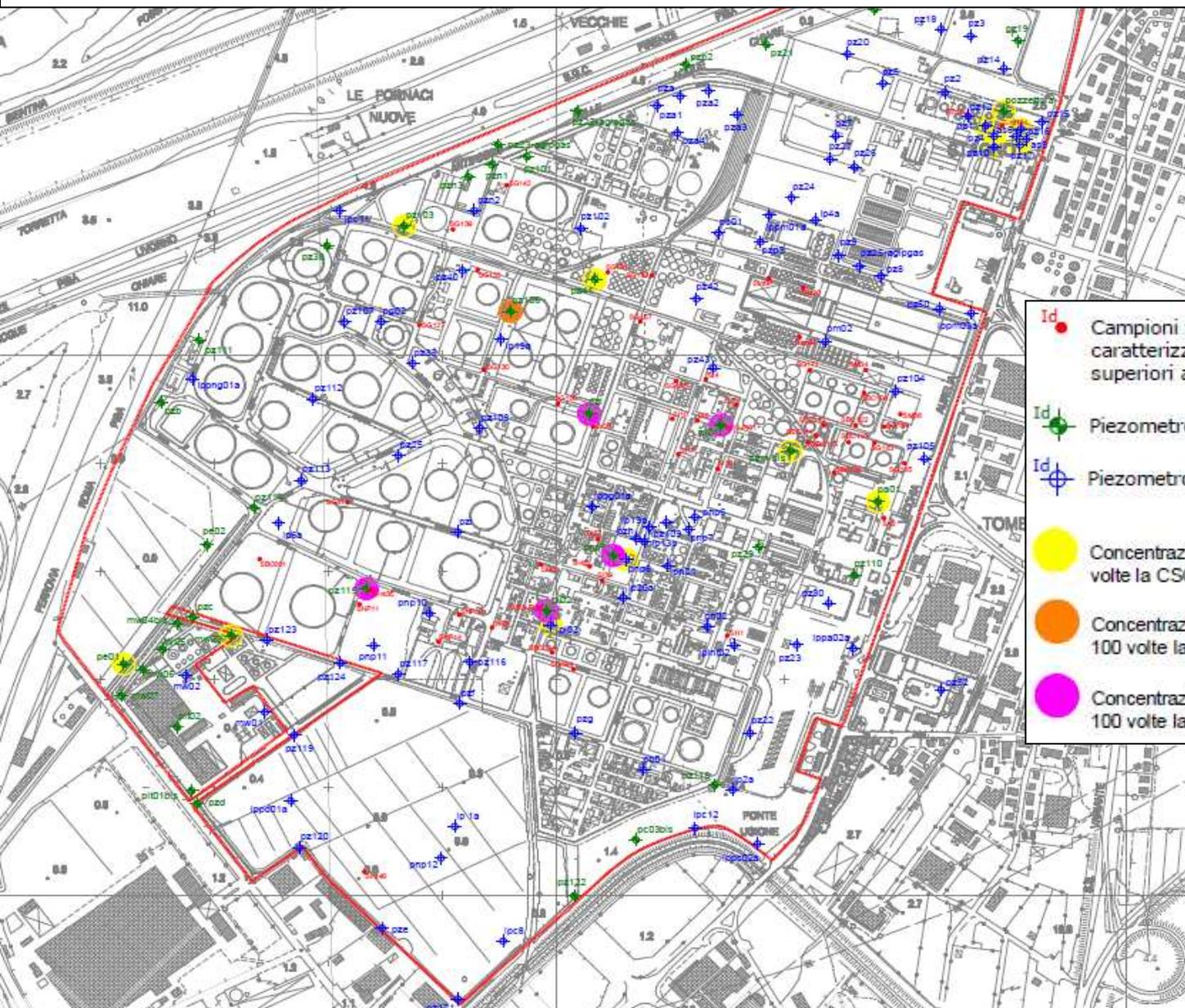
## Sonda per campionamento soil gas



## Punto di campionamento soil gas



# Superamenti CSC per Idrocarburi totali nelle acque sotterranee superficiali



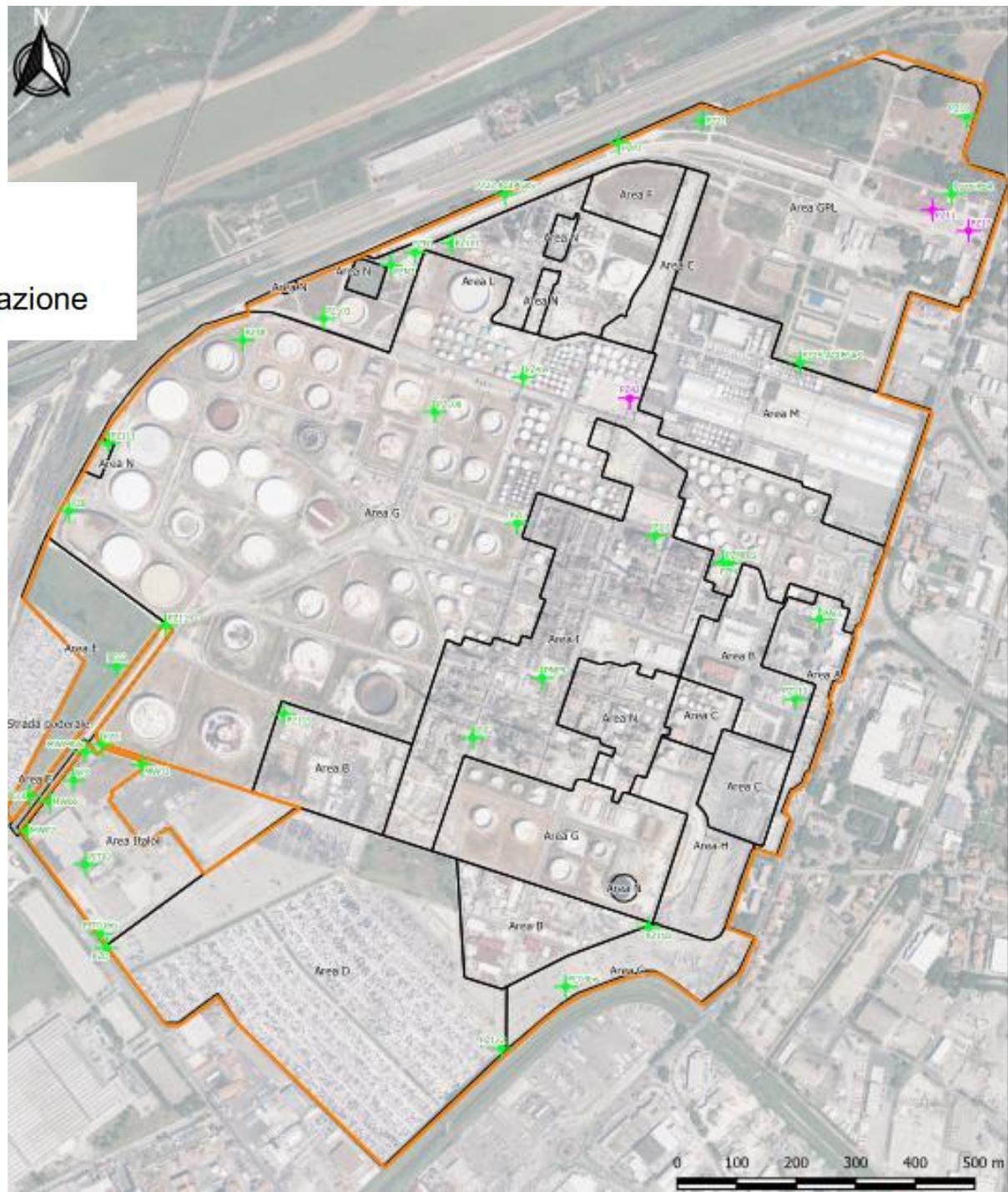
- Id** ● Campioni terreno (suolo profondo - indagini di caratterizzazione) con concentrazioni Idrocarburi superiori alle Csat
- Id** ● Piezometro falda superficiale - MISE
- Id** ● Piezometro falda superficiale - solo monitoraggio
- Concentrazione di Idrocarburi disciolti in falda entro 10 volte la CSC
- Concentrazione di Idrocarburi disciolti in falda tra 10 e 100 volte la CSC
- Concentrazione di Idrocarburi disciolti in falda oltre 100 volte la CSC o con presenza di velo di sumatante



Piezometro MISE



Piezometro MISE di nuova attivazione



## MISE acque sotterranee (falda superficiale)

La configurazione della **MISE delle acque della falda superficiale risulta attualmente costituita da 45 sistemi di pompaggio** delle acque: 42 ubicati all'interno del perimetro della Raffineria, di cui 3 attivati nel 2024, 1 in area Darsena Ugione e 2 in area Nuova Darsena Petroli.

**Portata complessiva di acque contaminate emunte è pari mediamente a 23 mc/h.**

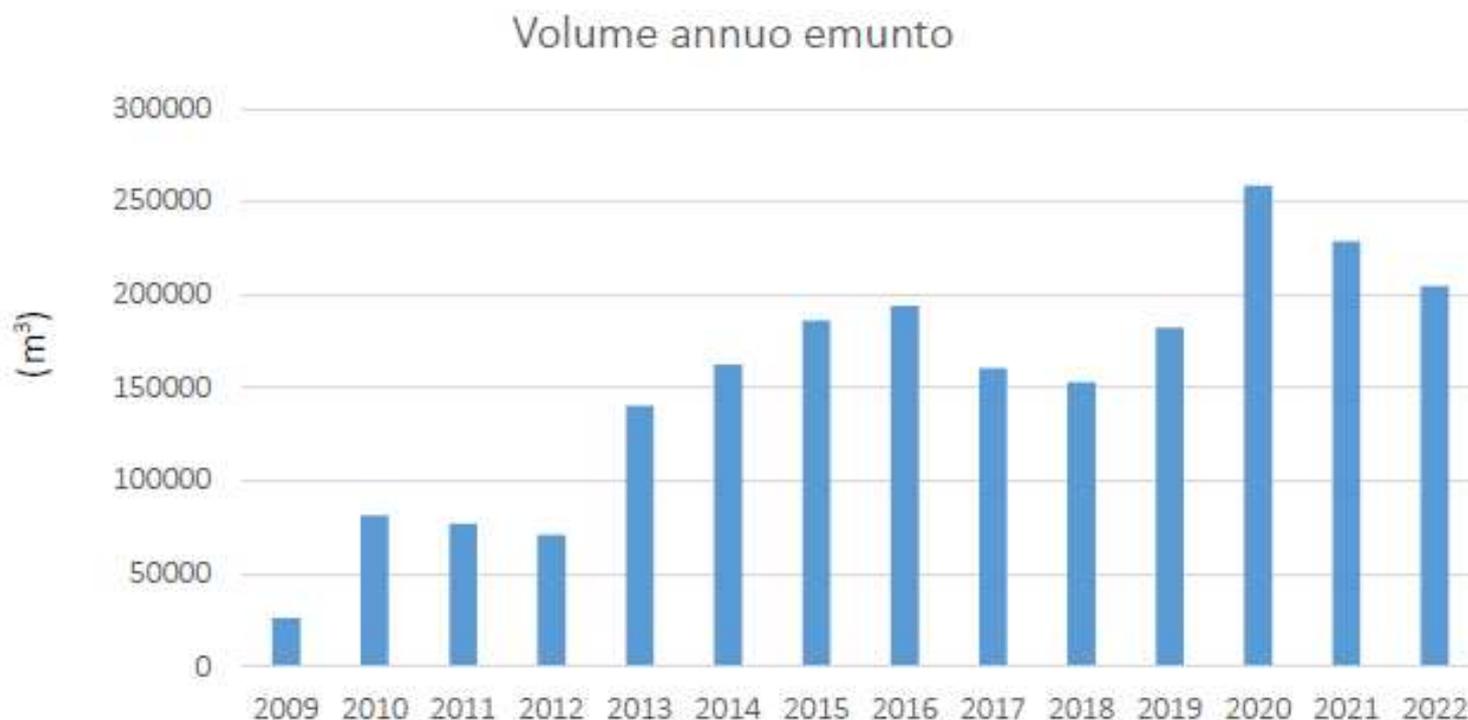
I criteri che hanno portato negli anni ad attivare i sistemi di MISE sono quelli previsti dall'art. 240 del D.Lgs. 152/06, con particolare riferimento a:

- presenza di prodotto surnatante;
- hot spot di contaminazione (concentrazioni dei contaminanti > 10 volte la CSC);
- superamenti delle CSC in prossimità dei confini di Raffineria ed in aree esterne;
- specifiche prescrizioni/osservazioni formulate dalle PPAA.

**I sistemi di MISE** installati ed attivati successivamente al 2013 **sono stati direttamente convogliati al sistema fognario della Raffineria**. Ad oggi tutti i sistemi di emungimento sono costituiti da pompe di tipo pneumatico alimentate con aria compressa di Raffineria o mediante compressore dedicato e sono dotati di contatore volumetrico (contaltri o contacolpi) per la misura del quantitativo di acqua emunta.

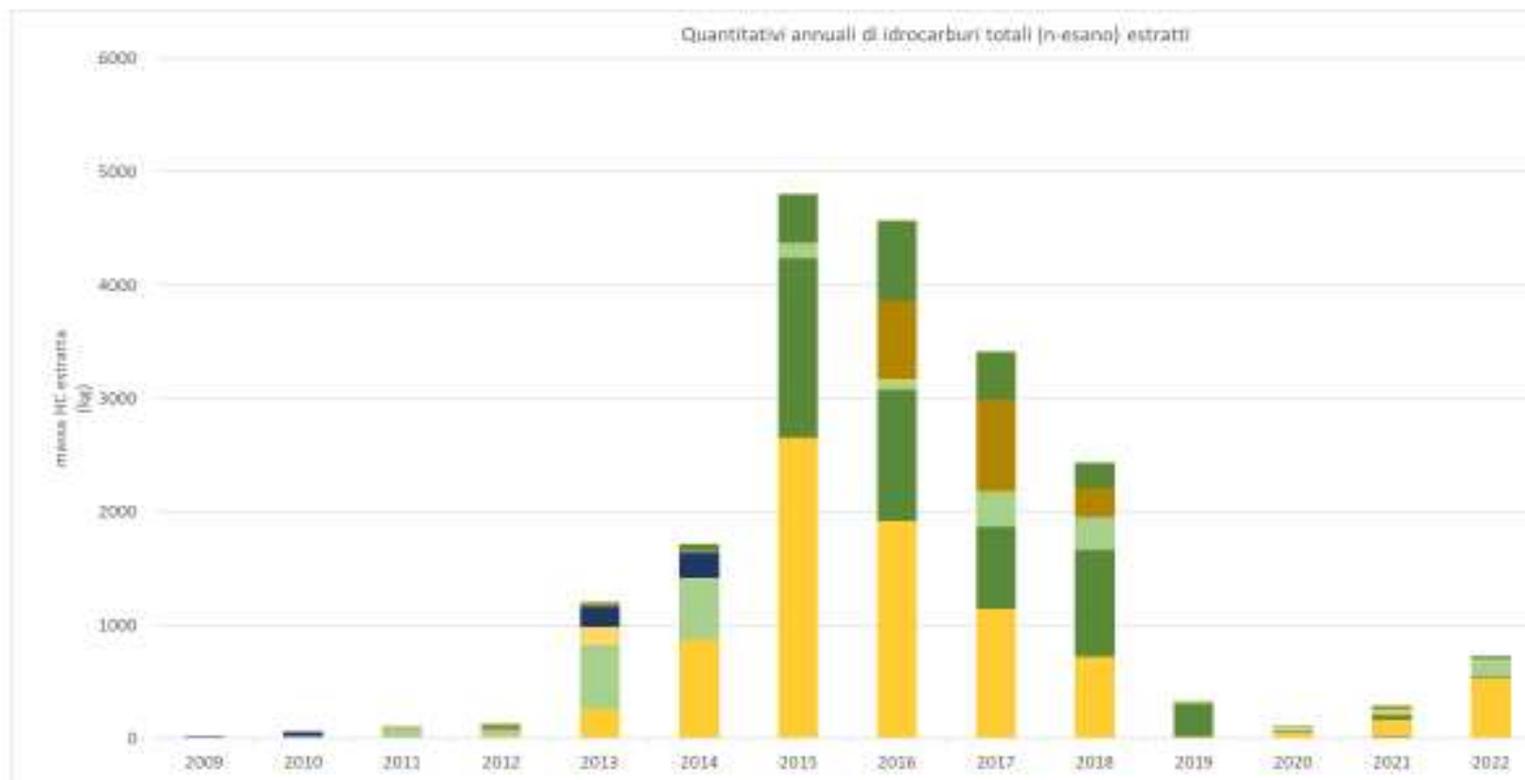
Ad oggi, tutte **le acque emunte dai sistemi di MISE sono inviate all'impianto TAE** di raffineria.

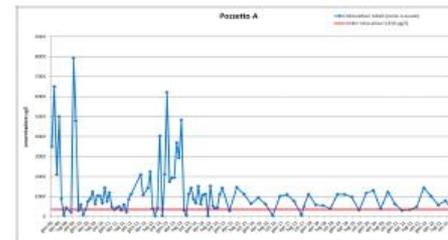
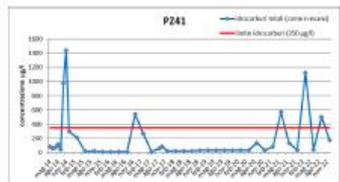
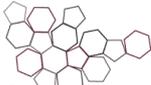
Dai parametri di esercizio e di funzionamento degli impianti di MISE è possibile calcolare il volume di liquidi emunti in corrispondenza di ciascun piezometro.



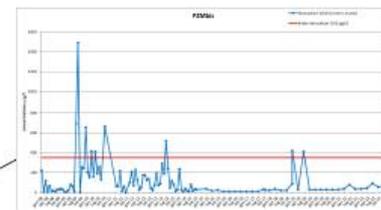
Oltre alla manutenzione dei sistemi installati, sono periodicamente svolte le seguenti attività di monitoraggio:

- rilievo dei livelli freaticometrici e dell'eventuale presenza di prodotto surnatante in corrispondenza di ogni piezometro in emungimento;
- campionamento delle acque in corrispondenza di ogni piezometro;
- stima della massa di contaminate estratta, per i parametri "marker" di Raffineria (idrocarburi totali come n-esano, benzene ed MtBE).

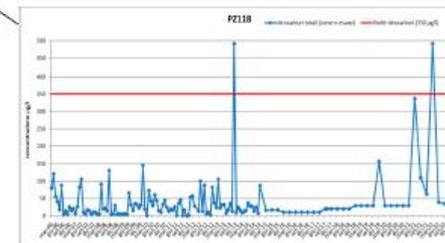
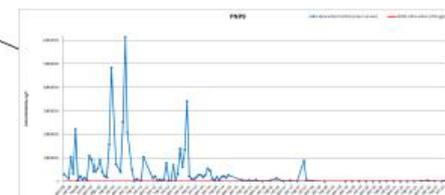
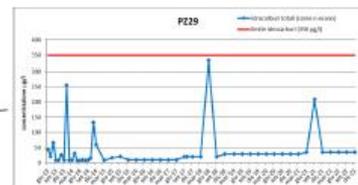
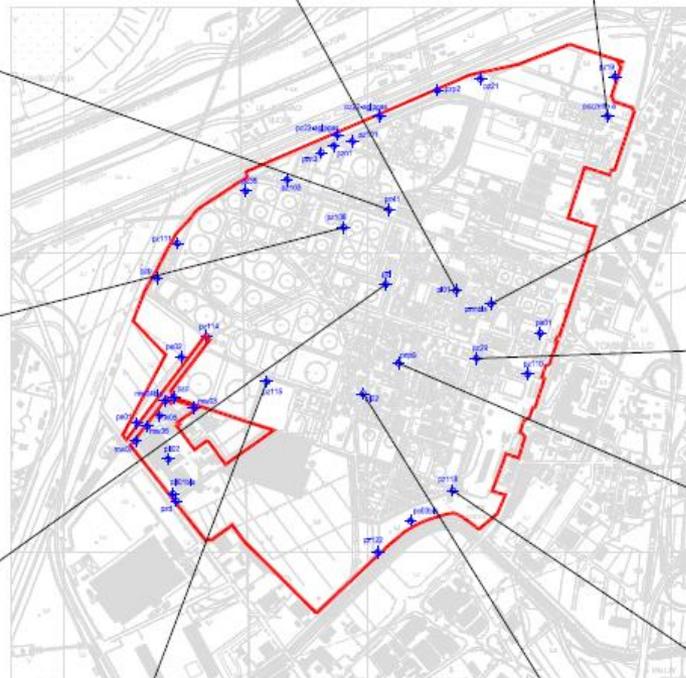
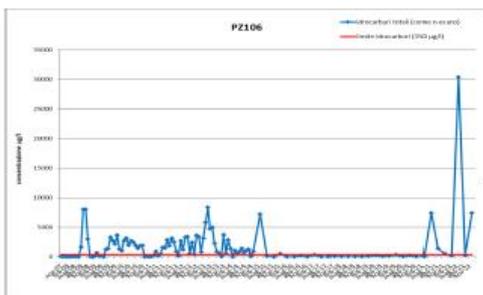




Valori limite di concentrazione di classe 2012 per benzene per dati tutti i punti (2012) µg/m³ - limite da superamento annuale



Valori limite di concentrazione di classe 2011 per benzene per dati tutti i punti (2011) µg/m³ - limite da superamento annuale



**LEGENDA**

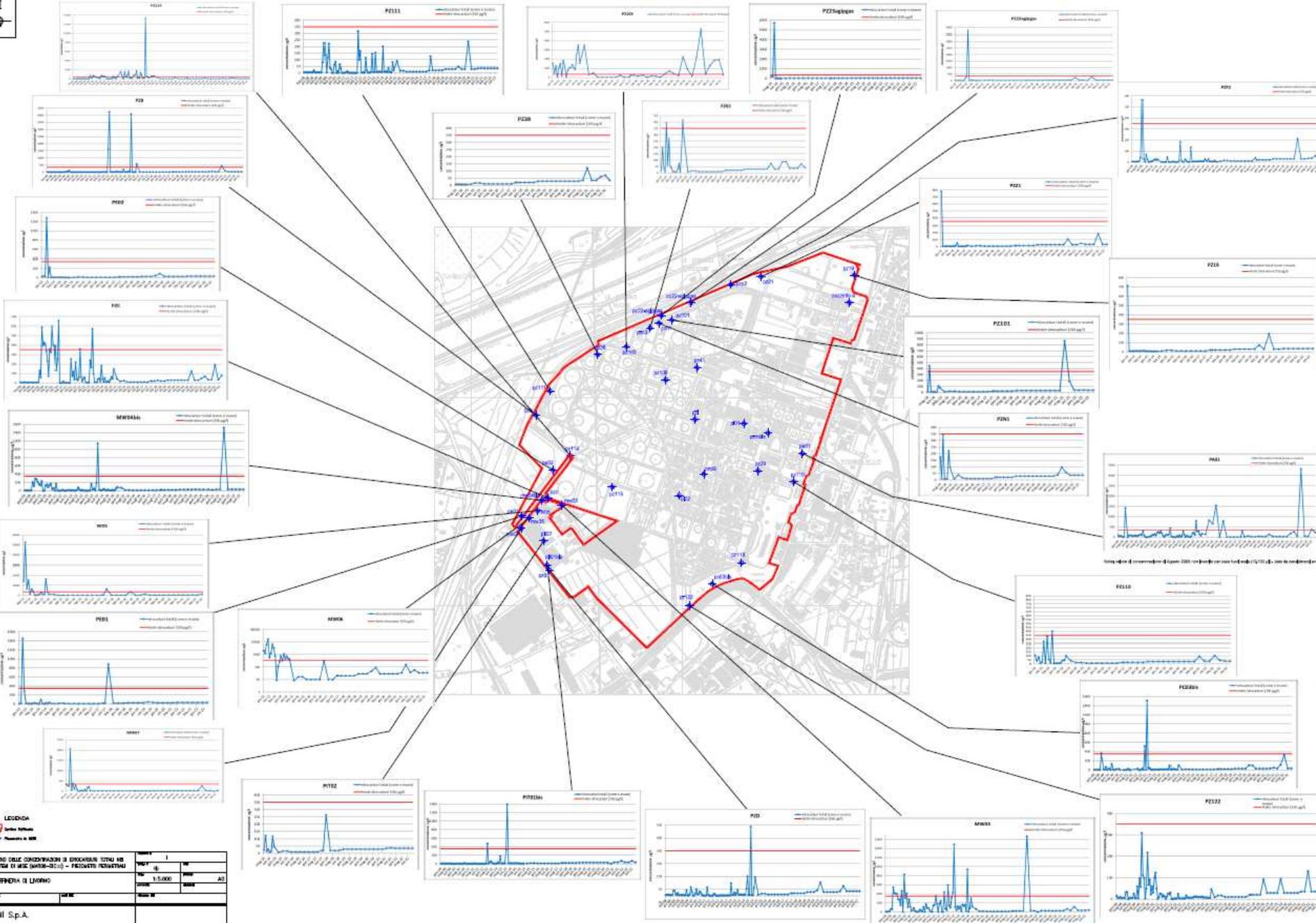
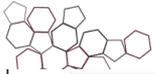
- Punto di Campione
- ★ Puntatore di SBR

**TITOLO: SCELTA CONCENTRAZIONI DI BENCENI TOTALI NEL SISTEMA DI MISCE (BENZENE+PZ1) - FIDUCIARIATI INTENSI**

**RAFFINERIA DI LIVORNO**

PRODOTTORE	ENI
INDICAZIONE	ENI
NUMERO	ENI
DATA	ENI

ENI S.p.A.



Timing report di concentrazione di Agente 2001 con frequenza per ora (con limite di 10 µg/m³) - con la condizione di tempo

LEGGENDA

- Sonda Software
- Puntuali in SMI

TIPOLOGIA DI ANALISI E DI MONITORAGGIO TOTALE DEI  
SISTEMI DI AEREA (MARE-2001) - FIDUCIARIA REGIONALE  
SARFERRA DI LIVORNO

NUMERO	1	NUMERO	1
DATA	15/05/2024	ORA	14:00
ORA	15:00	DATA	15/05/2024
ORA	16:00	ORA	16:00

Bil Sp.A.

Nel 2024 sono stati effettuati gli scavi propedeutici alla realizzazione degli impianti della Bioraffineria.

In data 29/01/2024 è stata rinvenuta la presenza di terreno impattato da prodotto solido di natura idrocarburica.

In data 05/10/2024, alla quota di circa -2 m da p.c., è stata rinvenuta la presenza di 12 fusti in metallo contenenti prodotto solido con componente idrocarburica.



## Sito Centrale termoelettrica ENEL Produzione Spa (codice LI195)

L'ex Centrale si estende su un'area di circa 12 ettari, compresa tra via S. Orlando, il canale Industriale del Porto delimitato dalla Calata del Magnale e il Canale dei Navicelli.

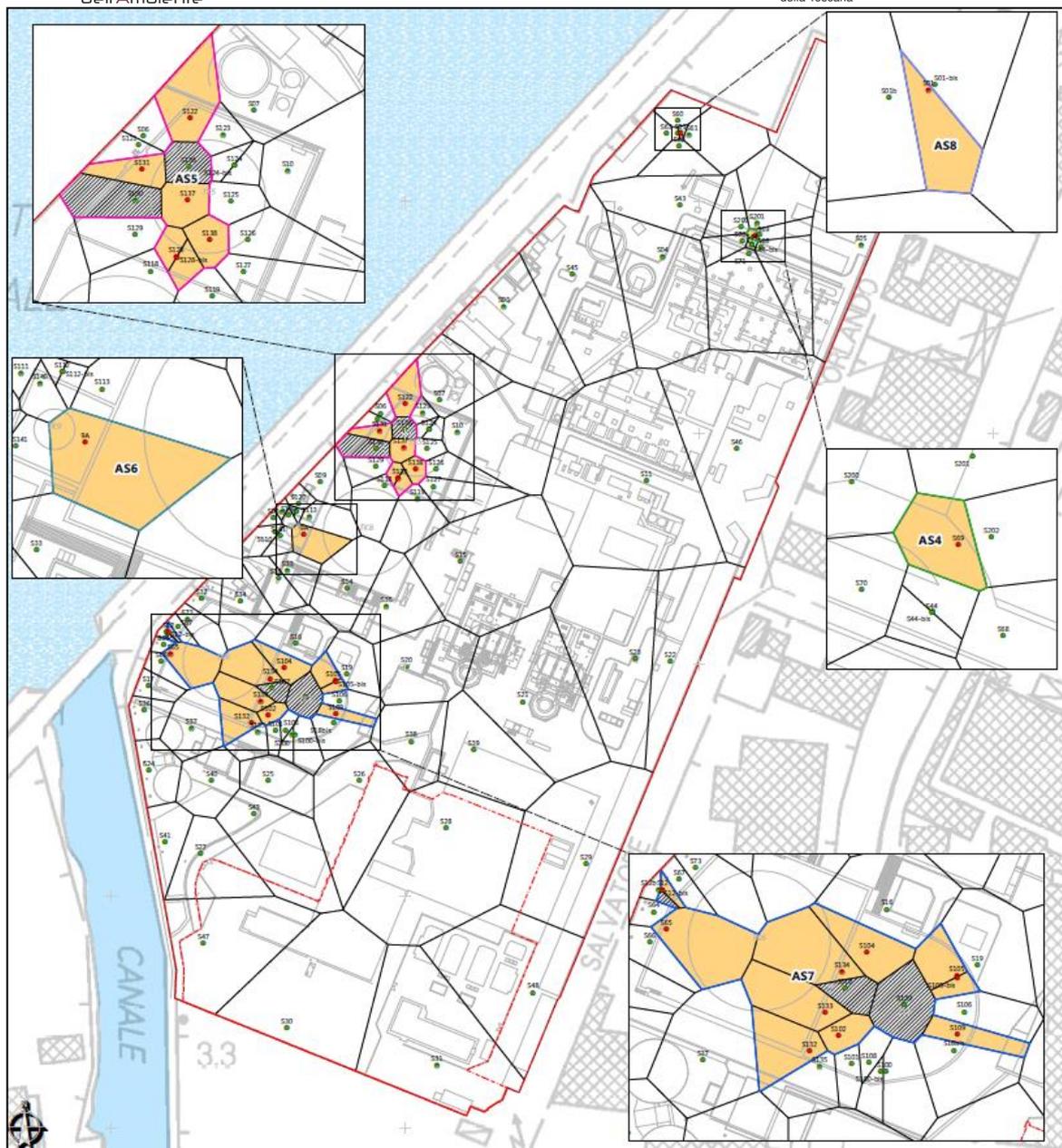
In direzione Est e Sud si sviluppa il tessuto urbano della città, mentre in direzione Nord prende corpo la zona industriale del porto.

La centrale è stata dismessa sa ENEL nel 2015.

Il MATTM con il Decreto Direttoriale prot. n. 489/STA del 17/11/2017 ha approvato l'AdR per le acque sotterranee e con il Decreto Direttoriale prot. n. 92/STA del 15/03/2018 ha approvato l'AdR per i terreni.

Il MATTM con il Decreto Direttoriale prot. n. 165/RIA ha approvato il Progetto Operativo di Bonifica dei terreni dell'area sorgente AS7.

La Regione Toscana con Decreto Dirigenziale prot. n. 15820 del 15/09/2021 [ha certificato il completamento degli interventi di bonifica dei suoli e la conformità degli stessi al progetto approvato dell'area sorgente AS7.](#)

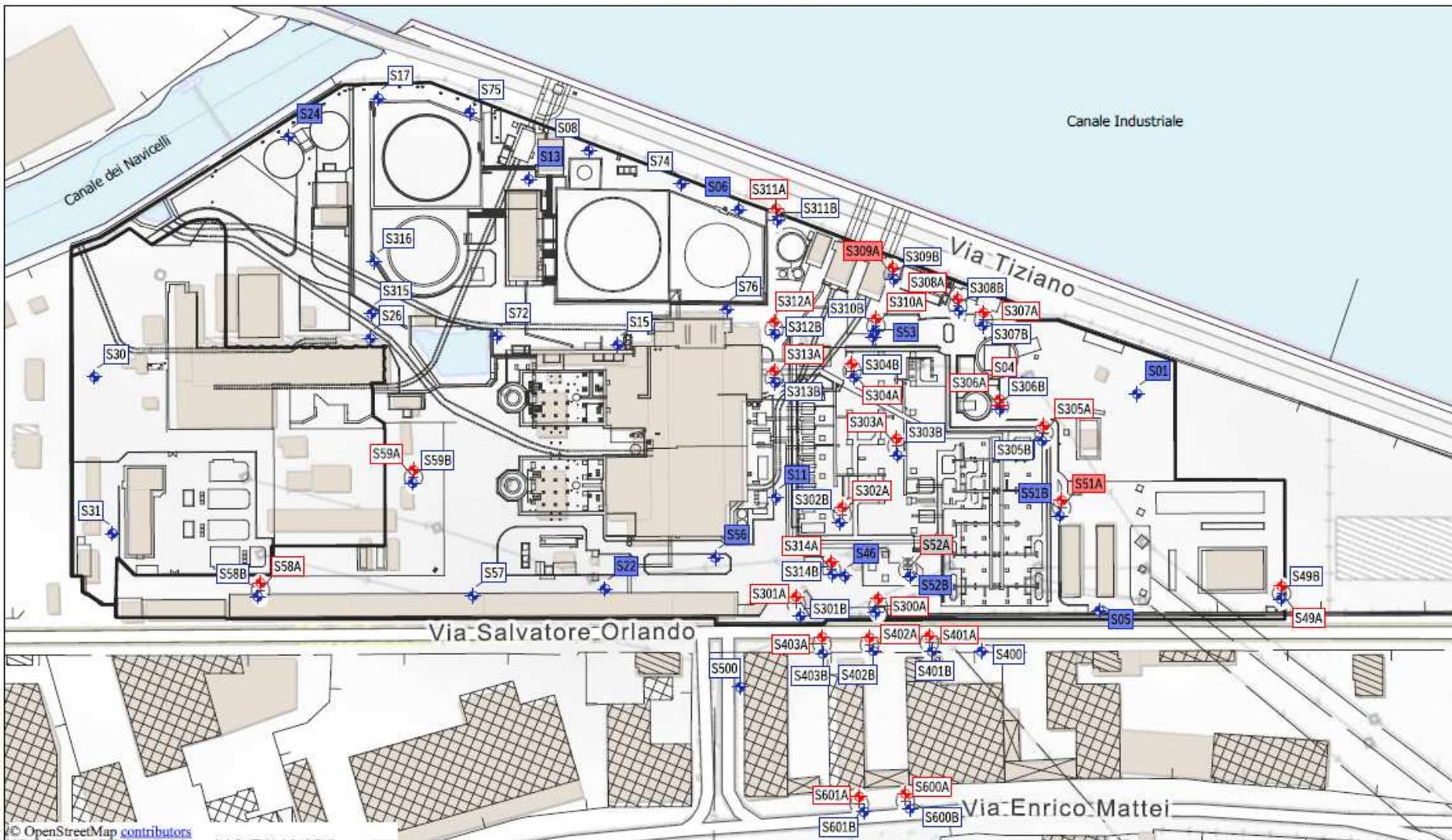


- Sondaggio conforme alle CSC
- Sondaggio non conforme alle CSC

**Area sorgente nel Suolo Profondo**

- AS4 (C>12)
- AS5 (C>12)
- AS6 (C>12)
- AS7 (C>12)
- AS8 (C>12, IPA)
- Poligono di Thiessen conforme alle CSC
- Poligono di Thiessen conforme alle CSC (analisi del vicinato)
- Poligono di Thiessen non conforme alle CSC

I risultati dell'AdR hanno evidenziato l'assenza di rischi sanitari e ambientali per tutte le aree sorgente individuate, ad eccezione degli Idrocarburi Pesanti (C>12) presenti nel suolo superficiale e profondo dell'area AS7



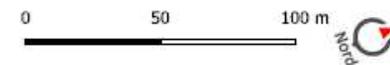
LEGENDA

PIANTA

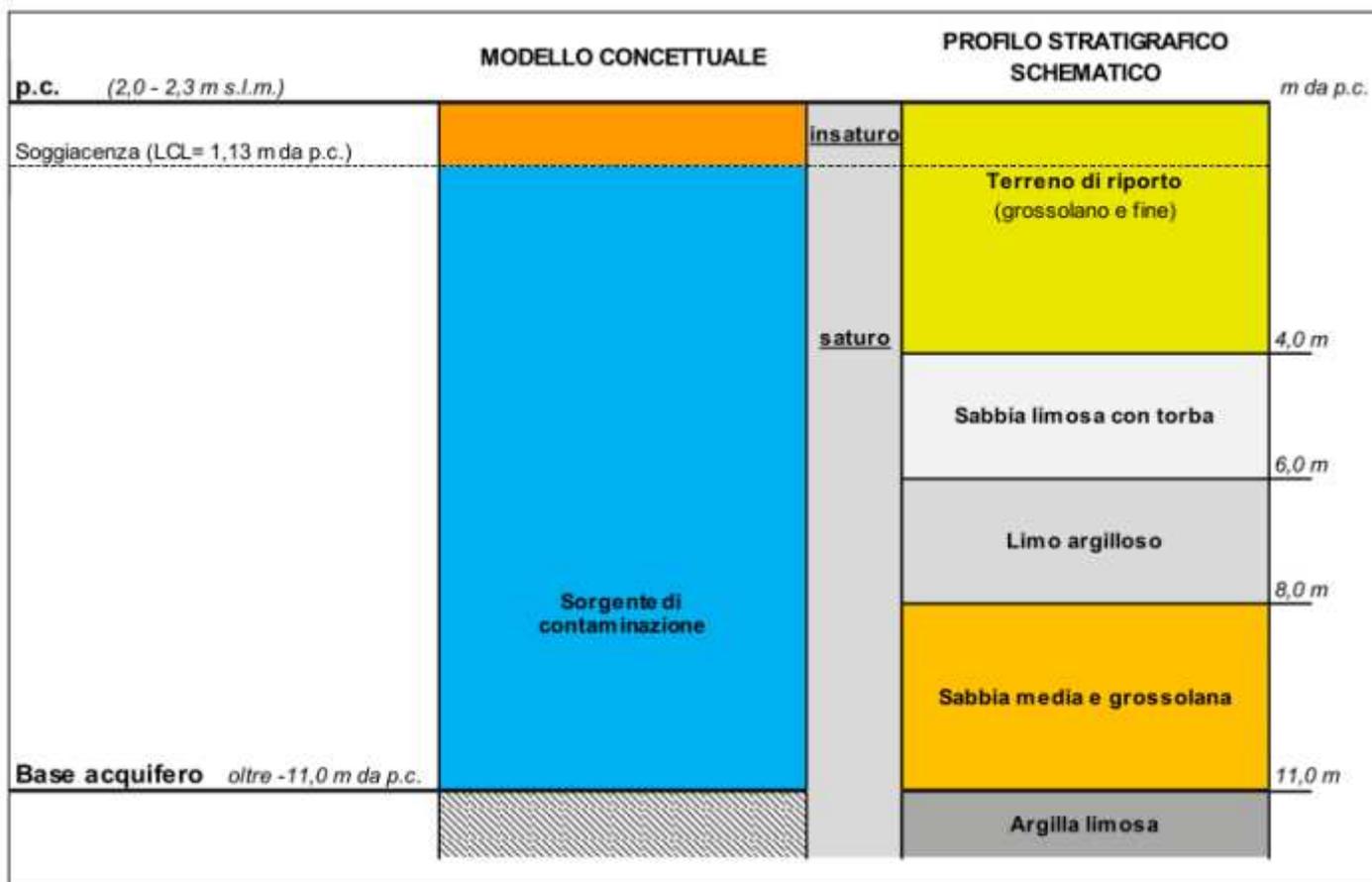
-  Planimetria di impianto
-  Cluster piezometrico A/B
-  Piezometro in MISE

PIEZOMETRI Monitoraggio di novembre 2021 (II semestre 2021)

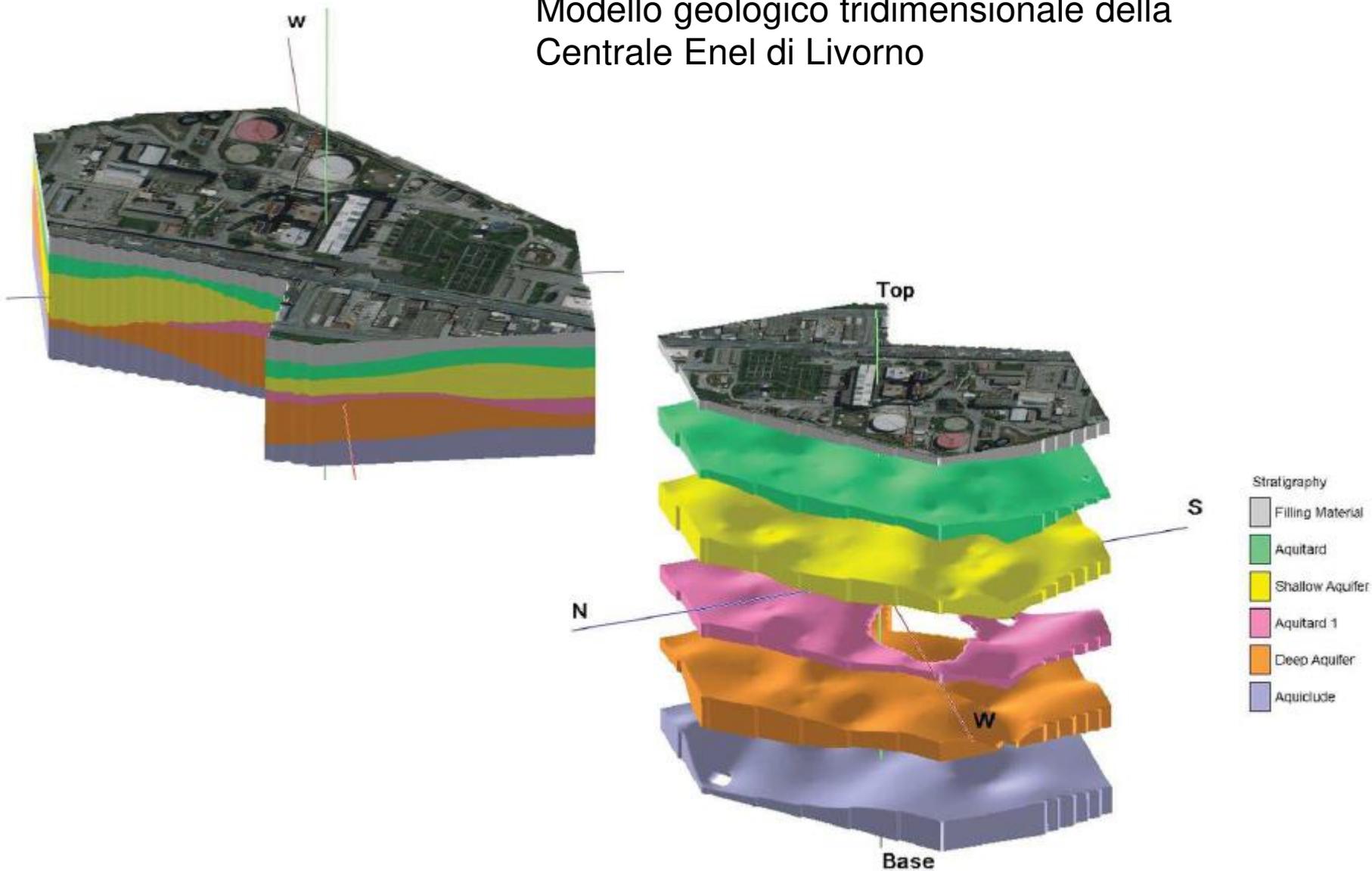
-  Classificazione dei piezometri per il campionamento
-  prelievo di campioni dal livello superiore dell'acquifero
-  prelievo di campioni dal livello inferiore dell'acquifero
-  piezometro danneggiato



La rete dei piezometri di monitoraggio delle acque sotterranee è costituita da n. 63 piezometri interni all'area della Centrale e da 12 piezometri esterni e localizzati lungo la viabilità ordinaria comunale.



## Modello geologico tridimensionale della Centrale Enel di Livorno



Da un punto di vista idrogeologico, l'area della Centrale di Livorno si caratterizza per la presenza di un acquifero eterogeneo nel quale sono di norma riconoscibili, al di sotto di una coltre di terreni di riporto (materiali grossolani e materiali limoso argillosi rimaneggiati), un livello superiore costituito da sabbie limose (localmente con orba e materiale organico) e un livello inferiore costituito da frazioni più grossolane (sabbie medio-grossolane e ghiaie).

Tra i due livelli sono localmente interposti terreni di natura prevalentemente limoso argillosa, generalmente caratterizzati da modesta continuità laterale e che solo localmente possono costituire elementi di separazione idraulica dei due livelli acquiferi descritti.

Pertanto, considerata l'eterogeneità del sistema idrogeologico e vista la discontinuità dei terreni di natura prevalentemente limoso argillosa che permettono solo localmente la separazione idraulica dei due livelli acquiferi sopra descritti, ai fini del Modello Concettuale del sito è stato schematizzato come un unico corpo acquifero.

## Contaminazione Terreni Insaturi

La contaminazione dei suoli è dovuta ai parametri As, Cr tot, Hg, Ni, Pb, Cu, IPA, idrocarburi pesanti C>12.

Sono stati effettuati interventi puntuali di bonifica dei suoli consistiti in rimozione e smaltimento dei terreni contaminati (area AS7).

Campionamenti di pareti e fondo scavi per verifica raggiungimento obiettivi di bonifica (CSC o CSR).

Raggiungimento obiettivi di bonifica per i terreni è stato certificato.

## Contaminazione Acque sotterranee

La contaminazione delle acque sotterranee è dovuta principalmente ai composti organoclorurati (Tricolorometano, Cloruro di Vinile, 1,1-Dicloroetilene, Tricloroetilene, Tetracloroetilene, 1,2-Dicloroetilene e 1,2-Dicloropropano).

Indagini di caratterizzazione effettuate anche al di fuori del sito ed utilizzando anche tecnologia MIP hanno permesso di stabilire che la sorgente della contaminazione delle acque sotterranee è esterna al sito ENEL.

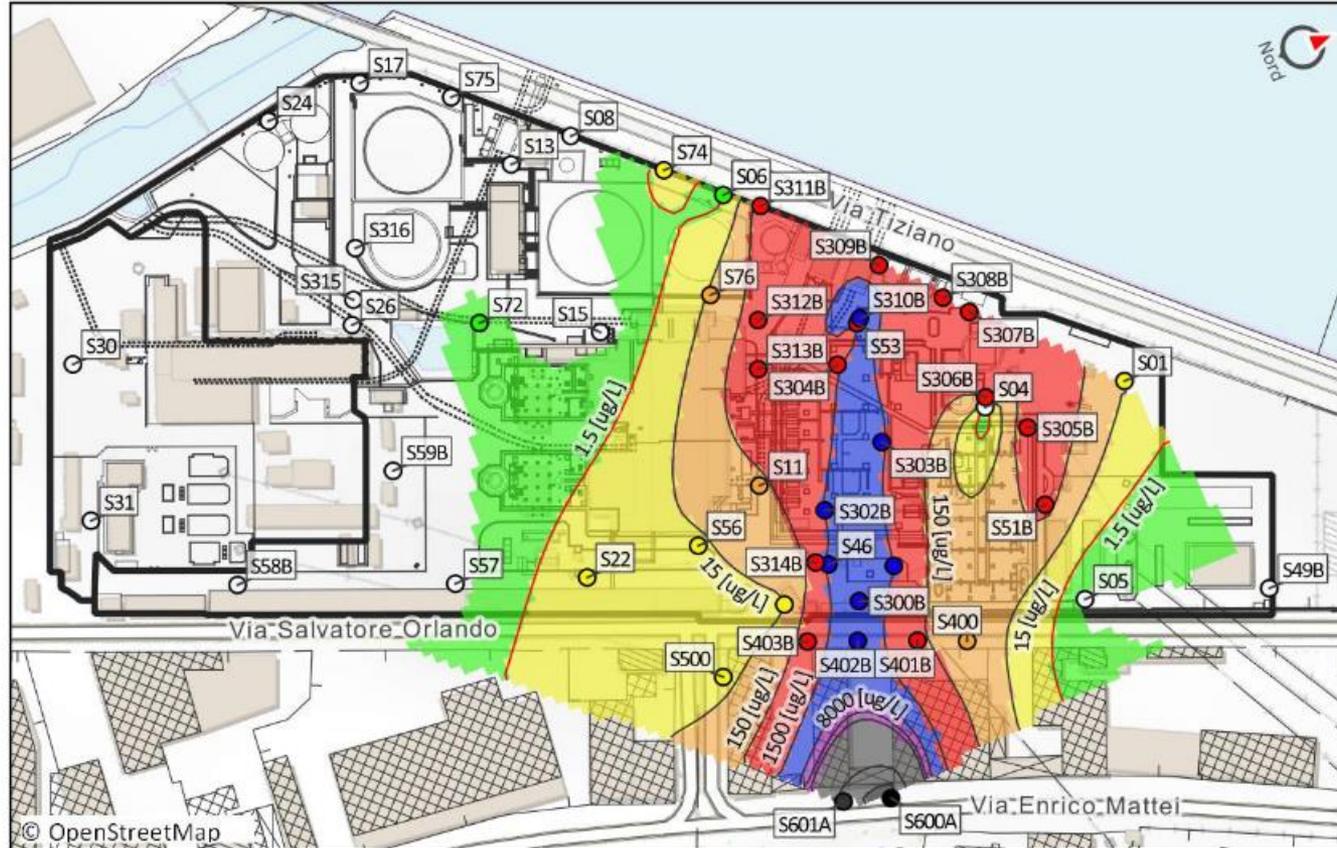
E' stato attivato da RT un procedimento per l'individuazione del soggetto responsabile (c.2 art. 245 del D.Lgs. 152/06) e per la definizione della geometria della sorgente di contaminazione.

ENEL ha installato un sistema di MIPRE (misure di prevenzione) delle acque sotterranee.

## Concentrazioni di composti organoclorurati determinate da ARPAT nei campioni di acque sotterranee prelevati dai piezometri esterni al sito dell'ex centrale

	CSC	PZ402B	PZ403A	PZ600B	PZ601A
Tricloroetilene [ $\mu\text{g/l}$ ]	1,5	1.900	1.400	30.000	110.000
1,2-Dicloroetilene [ $\mu\text{g/l}$ ]	60	110	1.100	1.000	130.000
Cloruro di Vinile [ $\mu\text{g/l}$ ]	0,5	<1,0	140	34	77.000
Idrocarburi totali [ $\mu\text{g/l}$ ]	350	-	-	-	8.000

Tabella 1: Valori di concentrazione dei composti organoclorurati determinati da ARPAT nei piezometri esterni campionati



### LEGENDA

#### PIANTA

— Planimetria di impianto

#### PIEZOMETRI

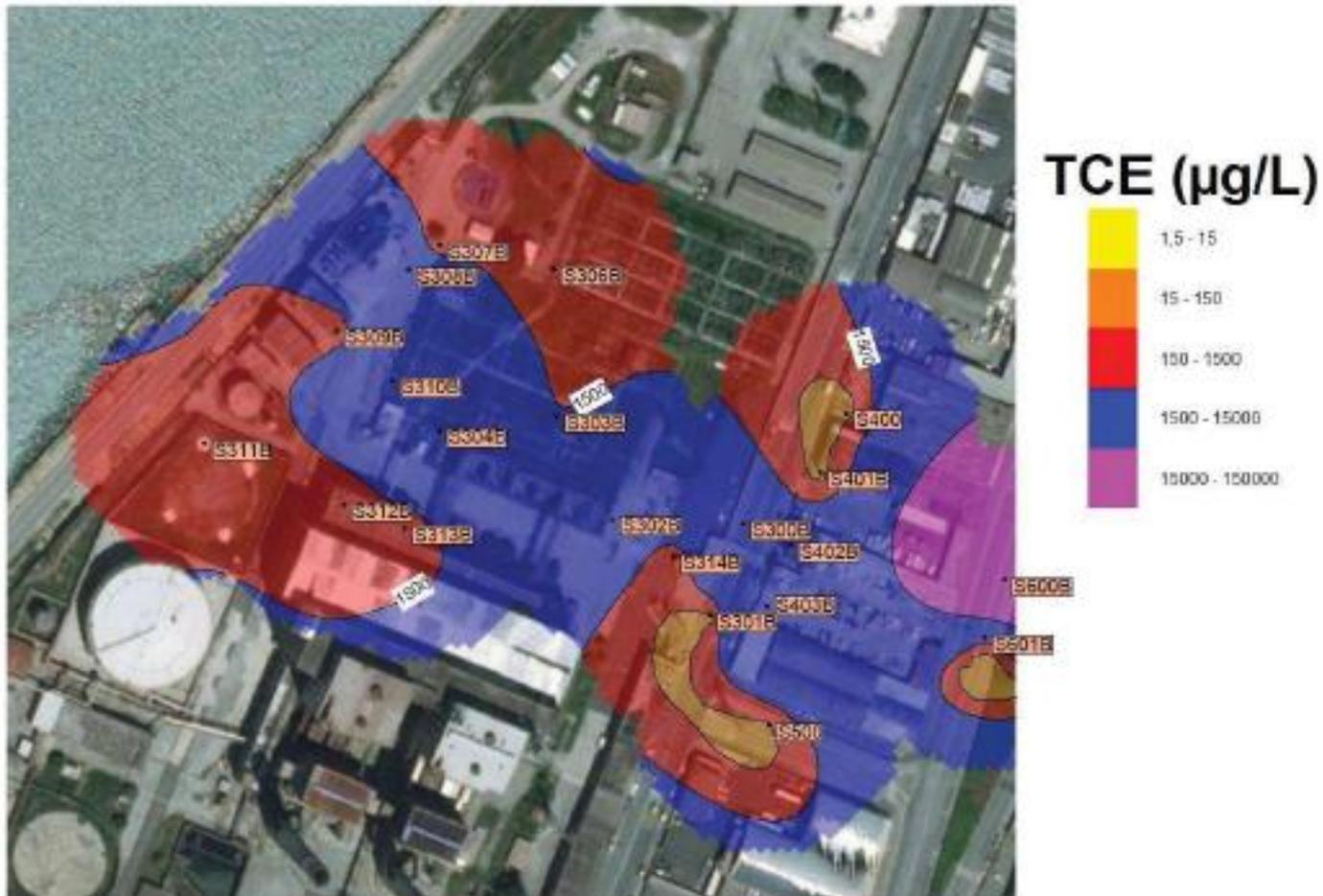
○ Piezometro

#### CONCENTRAZIONE NELLE ACQUE SOTTERRANEE [C in µg/L]

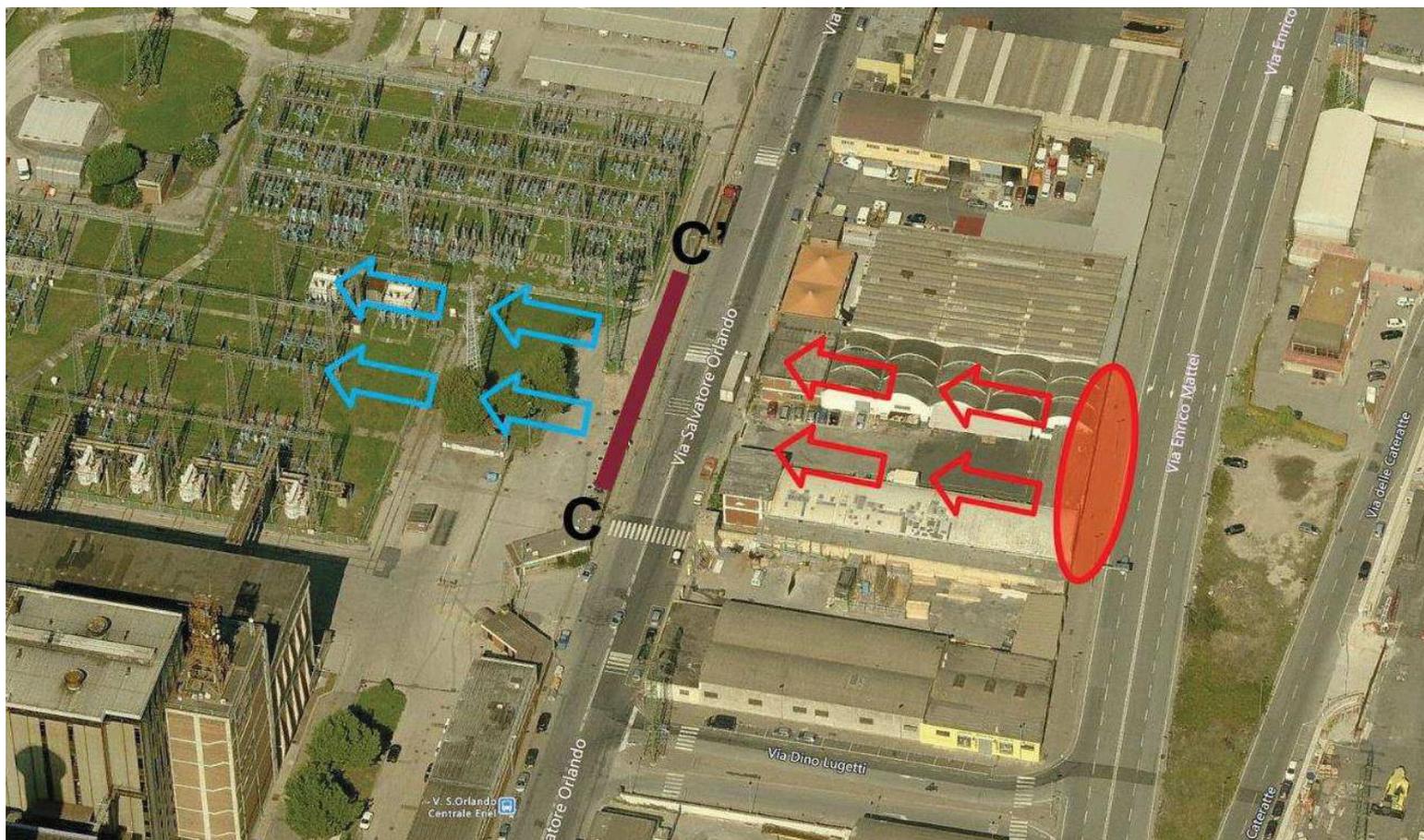
○ C < LR	● C < CSC	● 1'500 < C ≤ 5'000
● CSC < C ≤ 15	● 15 < C ≤ 150	● 5'000 < C ≤ 10'000
● 150 < C ≤ 1'500	● 10'000 < C ≤ 100'000	● C > 100'000

LR=limite di rilevabilità, CSC=concentrazioni soglia di contaminazione  
(Tabella 2 All. 5, Tit. V, P. Quarta, D.Lgs. 152/06)

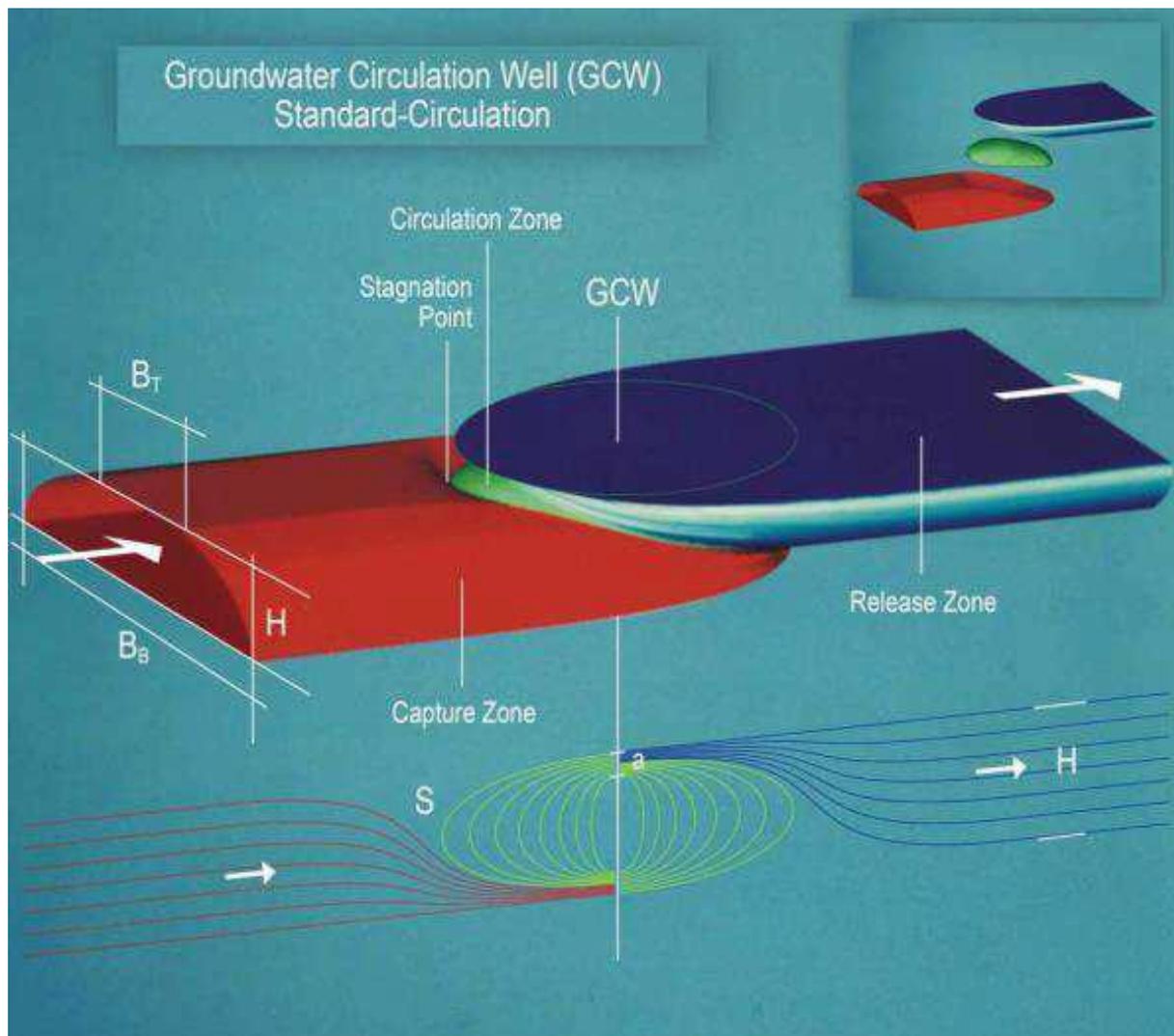
## Contour map relativa alla distribuzione del TCE nella porzione profonda dell'acquifero



## Sistema di MIPRE - obiettivo



## Sistema di MIPRE - obiettivo



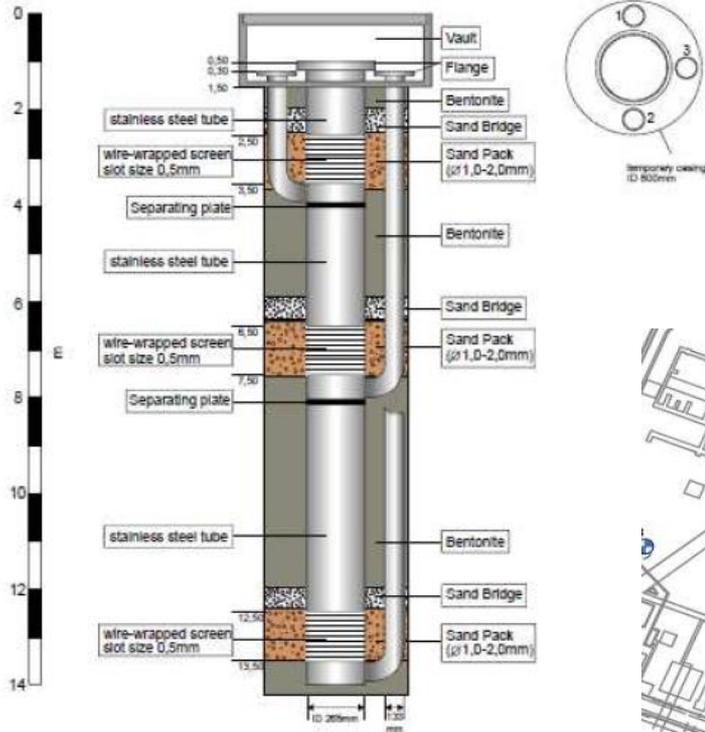
## Sistema di MIPRE - tecnologia

L'intervento prevede la realizzazione di una barriera di pozzi in corrispondenza del confine di monte idrogeologico del sito della centrale, finalizzata all'intercettazione del flusso contaminato in ingresso.

L'azione di intercettazione viene effettuata attraverso moduli di ricircolazione basati sulla tecnologia IEG-GWC® (Groundwater Circulation Wells). Questa tecnologia prevede l'estrazione delle acque di falda, il trattamento con un impianto dedicato costituito da una serie di sezioni (filtrazione a sabbia, strippaggio, filtrazione su carboni attivi) che porta all'abbattimento del carico contaminante e la successiva reiniezione negli stessi pozzi, allo scopo di creare un fronte di acqua priva di contaminazione che defluisce verso valle.

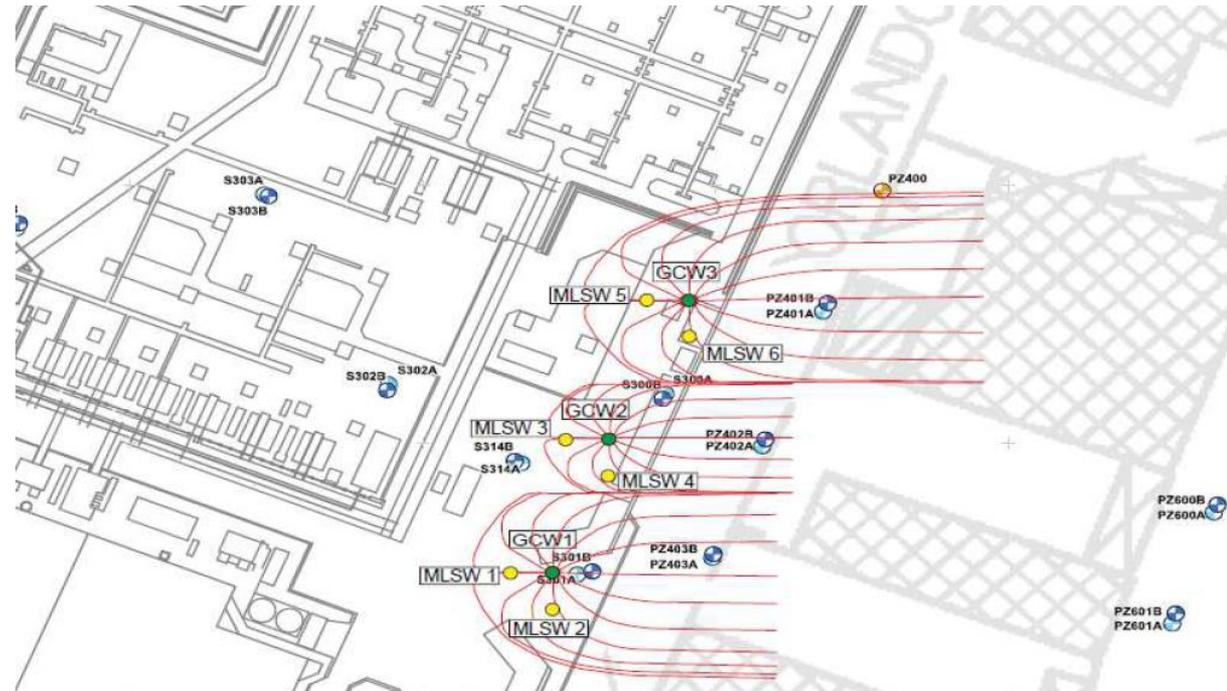
L'efficacia del trattamento viene controllata attraverso una rete di piezometri di monitoraggio posizionati a lato e a valle dei pozzi di ricircolazione, in corrispondenza dei quali vengono effettuati, con opportuna cadenza, prelievi di campioni da sottoporre ad analisi.

IEG-GCW Design , Livorno  
GCW 2

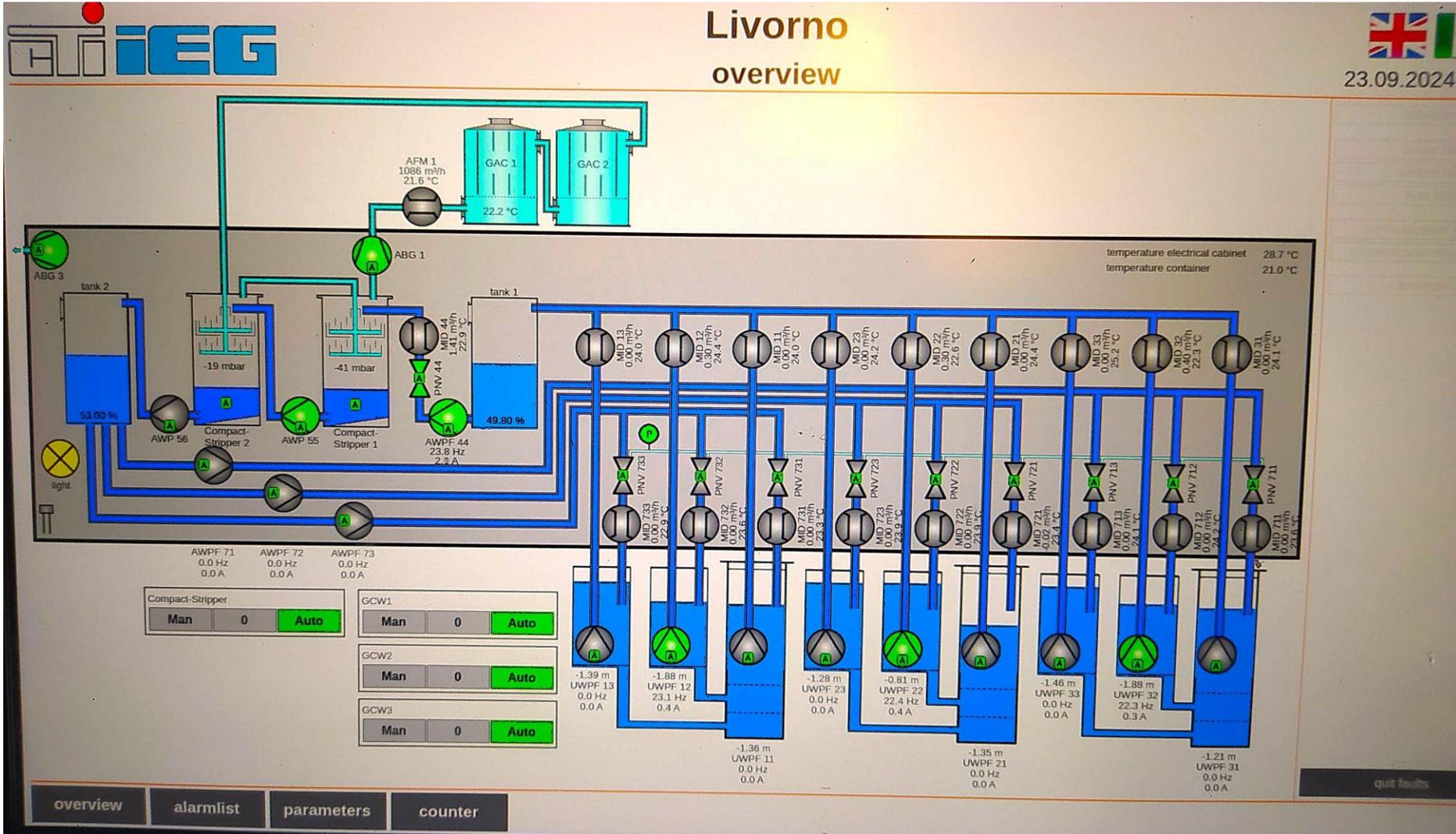


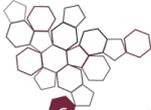
## POZZO DI RICIRCOLO IEG-GCW® (caratteristiche tecniche)

Zone di «cattura» dei pozzi (da modello idrogeologico numerico)



# Schema impianto trattamento (schermata pannello di controllo)

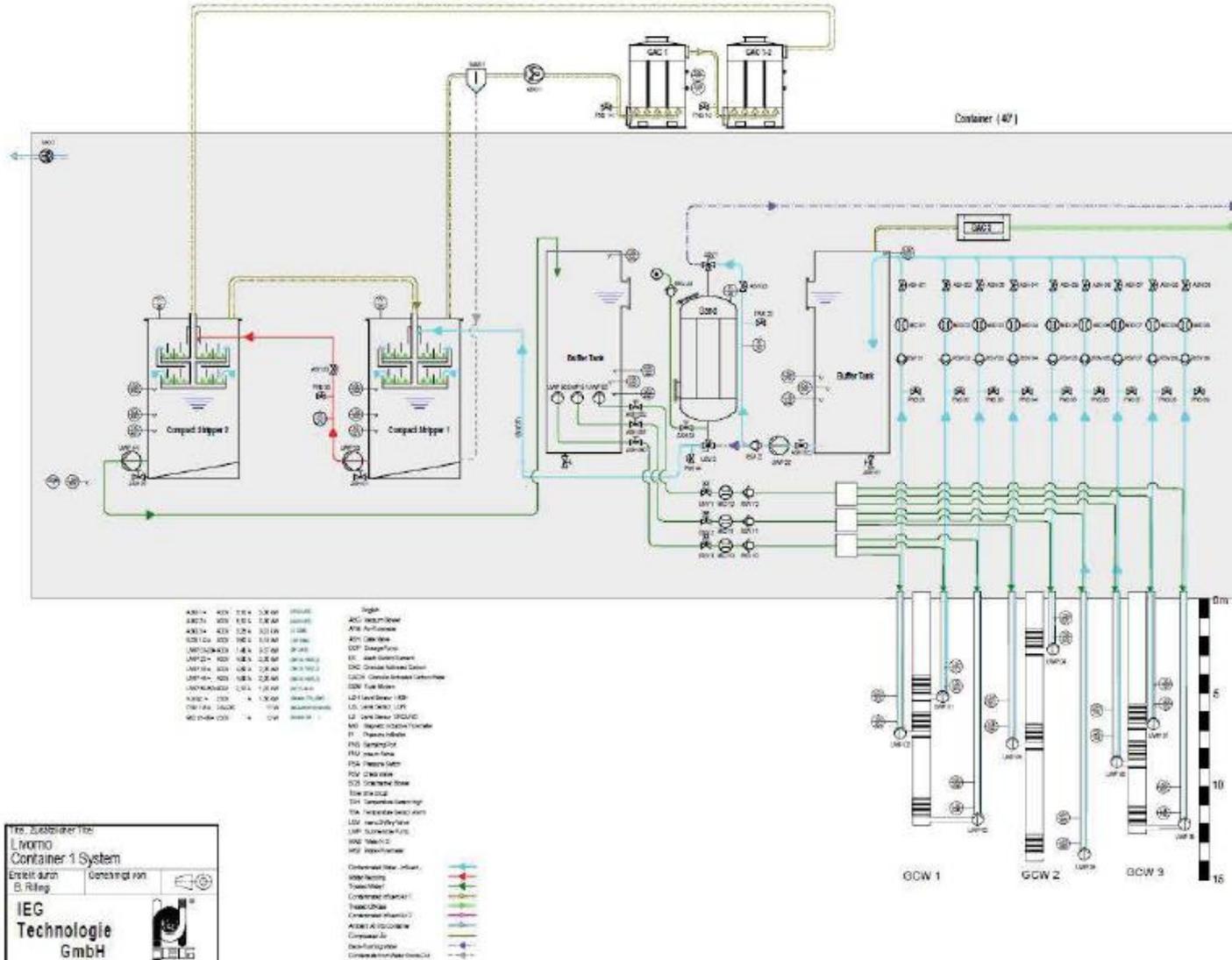




Systema Nazionale  
per la Protezione  
dell'Ambiente



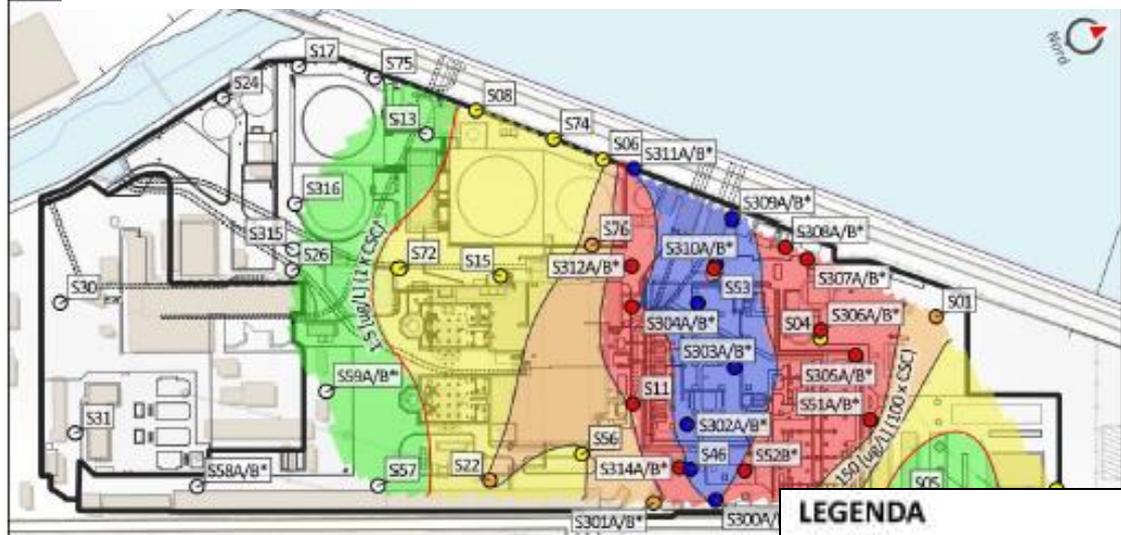
**ARPAT**  
Agenzia regionale  
per la protezione ambientale  
della Toscana



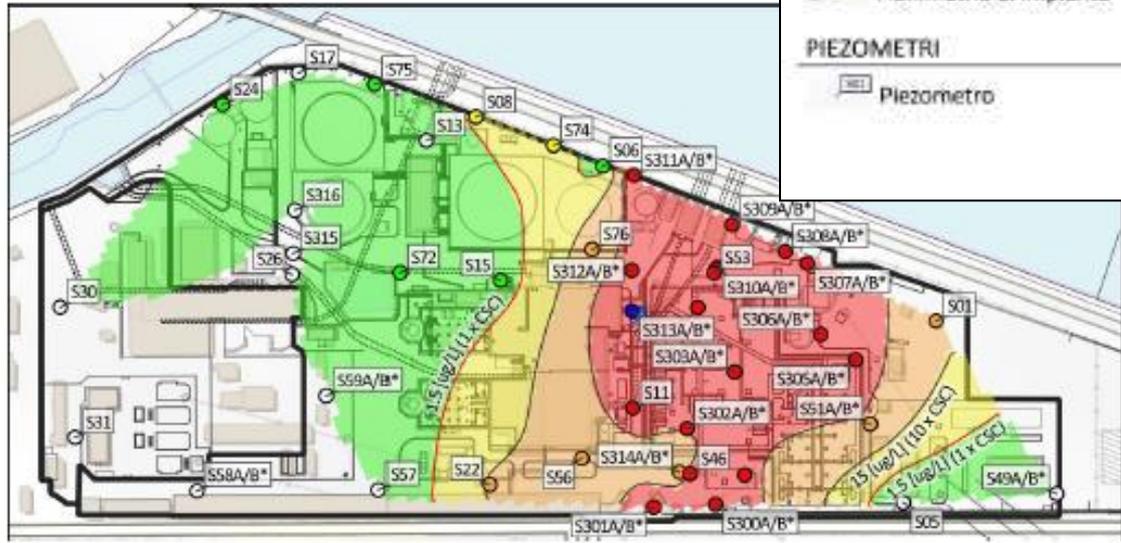
Titolo: 1774 Container 1 System  
 Esecuto: IEG Technologie GmbH  
 Data: 1774 Container 1 System  
 Rev: 1.1  
 Scale: 1:1  
 DINA: A3

© 2019 IEG Technologie GmbH. All rights reserved.  
 Copying of this document and using it in any way, without the prior written consent of IEG Technologie GmbH, is strictly prohibited.  
 The content of this document is the property of IEG Technologie GmbH and is not to be disclosed to third parties without the prior written consent of IEG Technologie GmbH.

# Primi risultati intervento MIPRE (curve di iso-valore del Tricloroetilene)



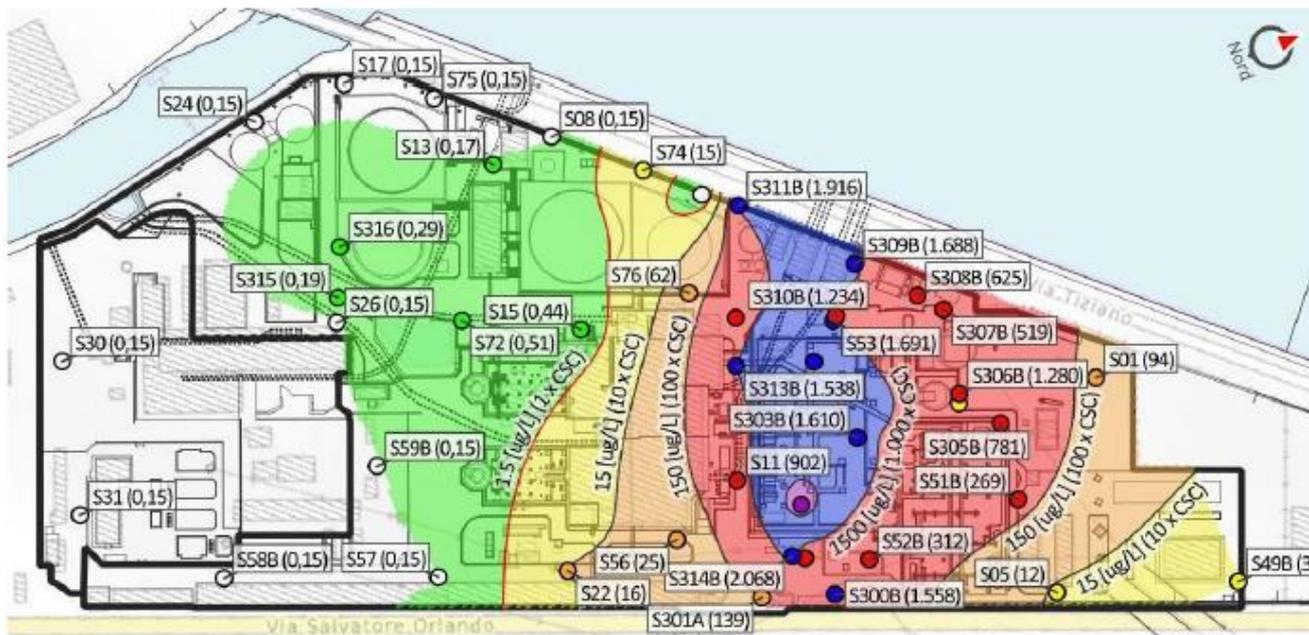
Dicembre 2022



Giugno 2023

PIANTA		CONCENTRAZIONE NELLE ACQUE SOTTERRANEE [C in µg/L]	
	Planimetria di impianto		C < CSC
	Piezometro		1'500 < C ≤ 5'000
			CSC < C ≤ 15
			15 < C ≤ 150
			5'000 < C ≤ 10'000
			150 < C ≤ 1'500
			C > 100'000

LR=limite di rilevabilità, CSC=concentrazioni soglia di contaminazione  
 (Tabella 2 All. 5, Tit. V, P. Quarta, D.Lgs. 152/06)



Dicembre 2023.

**LEGENDA**

PIANTA	CONCENTRAZIONE NELLE ACQUE SOTTERRANEE [C in µg/L]			
 Planimetria di impianto	 C < LR	 C < CSC	 1'500 < C <= 5'000	 5'000 < C <= 10'000
<b>PIEZOMETRI</b>	 CSC < C <= 15	 15 < C <= 150	 10'000 < C <= 100'000	 C > 100'000
 Piezometro	 150 < C <= 1'500	 C > 100'000		

LR=limite di rilevabilità, CSC=concentrazioni soglia di contaminazione  
(Tabella 2 All. 5, Tit. V, P. Quarta, D.Lgs. 152/06)

Nel corso del 2023 il sistema di ricircolazione delle acque ha evidenziato un eccessivo deposito di calcare, dovuto al chimismo delle acque ed a un non prevedibile effetto dell'impianto sul chimismo stesso. Tale fenomeno ha condotto ad una significativa minore portata di acqua trattata dall'impianto. Sono stati identificati gli interventi di manutenzione da mettere in atto durante il primo semestre del 2024 per risolvere il problema.

## Cosa fa ARPAT:

- Verifica in campo che tutte le attività di caratterizzazione (campionamenti terreni, acque sotterranee, soil gas) si svolgano secondo quanto approvato dal MASE;
- Acquisisce in campo campioni di controllo e li sottopone ad analisi chimiche presso i propri laboratori per il successivo confronto con i risultati del proponente (validazione dati del proponente)
- Verifica in campo che le attività di messa in sicurezza e bonifica siano effettuate secondo i progetti approvati dal MASE
- Verifica in campo la corretta gestione dei rifiuti prodotti dall'attività di bonifica
- Controlla la gestione degli eventi accidentali (sversamenti da serbatoi, sversamenti da tubazioni di processo e/o da oleodotti)
- Supporta il MASE nelle attività istruttorie finalizzate all'approvazione di Piani di caratterizzazione, AdR, progetti di MISO/bonifica e Piani di monitoraggio