



AGIP PETROLI S.p.A.
Raffineria di Sannazzaro de' Burgondi

**SITUAZIONE DEI SUOLI, SOTTOSUOLI E ACQUE SOTTERRANEE
NELL' AREA DELLA RAFFINERIA DI SANNAZZARO, ED INTERVENTI DI
MESSA IN SICUREZZA ADOTTATI PER ASSICURARE LA TUTELA DELLA
SALUTE E DELL' AMBIENTE
(art. 9 d.m. 25 Ottobre 1999 n° 471)**

Ottobre 2001

1. PREMESSA.....	3
2. DESCRIZIONE DELLO STABILIMENTO.....	3
3. DESTINAZIONE D'USO DEI TERRENI DELLA RAFFINERIA PREVISTA DAGLI ATTUALI STRUMENTI URBANISTICI.....	4
3.1 Piano Regolatore Generale del Comune di Sannazzaro.....	4
3.2 Piano Regolatore Generale del comune di Ferrera.....	4
4. SINTESI DELLE AZIONI E DEGLI ATTI DI SALVAGUARDIA AMBIENTALE.....	5
5. INQUADRAMENTO LITOSTRATIGRAFICO E IDROGEOLOGICO GENERALE.....	7
5.1 Caratteri litostratigrafici.....	7
5.2 Caratteri idrogeologici.....	9
5.3 Caratteri principali della falda freatica sottostante la raffineria.....	10
6. MISURE DI SICUREZZA.....	12
6.1 Strategia di intervento.....	12
6.2 Opere di tipo preventivo.....	12
6.2.1 Interventi sul sistema fognario interno.....	12
6.2.2 Interventi sul parco serbatoi.....	13
6.3 Opere di protezione e risanamento.....	13
6.3.1 Prima barriera di protezione idrodinamica.....	14
6.3.2 Seconda barriera di protezione idrodinamica.....	14
6.3.3 Terza barriera di protezione idrodinamica.....	15
6.4.1 Trincea di protezione esterna.....	17
7. PIANO DI INDAGINE.....	19
7.1 Indagini.....	19
7.2 Parametri indagati.....	19
7.3 Indagini sui suoli.....	19
7.3.1 Magliatura.....	19
7.3.2 Denominazione e numero dei sondaggi.....	20
7.3.3 Modalità di scavo.....	20
7.3.4 Profondità dei sondaggi.....	20
7.3.5 Prelievo dei campioni.....	20
7.3.6 Conservazione dei campioni.....	20
7.3.8 Chiusura mineraria dei sondaggi.....	20
7.4 Indagini sulle acque.....	21
7.4.1 Punti di controllo.....	21
7.5 Metodologie di campionamento.....	22
7.6 Metodologie di analisi.....	22
7.6.1 Terreni.....	22
7.6.2 Acque.....	22
8. RISULTATI DELLE INDAGINI.....	23
8.1 Evidenze stratigrafiche.....	23
8.2 Inquinamento dei suoli.....	23
8.3 Indagini sulle acque.....	25
8.3.1 Situazione pregressa.....	25
8.3.2 Falda artesianiana.....	26
8.3.3 Falda freatica esterna.....	26
8.3.4 Anello di monitoraggio perimetrale.....	26
8.3.5 Falda freatica interna.....	27
8.3.6 Pozzi delle barriere di protezione.....	27
9. Conclusioni.....	28

Allegati

Allegato n° 1	Descrizione del ciclo produttivo
Allegato n° 2	Caratteristiche dei piezometri di controllo della falda freatica sottostante il parco serbatoi e gli impianti produttivi
Allegato n° 3	Caratteristiche dei pozzi delle barriere di protezione interne
Allegato n° 4	Caratteristiche dei piezometri dell'anello di monitoraggio della falda freatica interna
Allegato n° 5	Caratteristiche dei piezometri dell'anello di monitoraggio della falda artesianiana interna
Allegato n° 6	Caratteristiche dei piezometri dell'anello di monitoraggio della falda freatica esterna
Allegato n° 7	Tabelle analitiche riassuntive

1. PREMESSA

Nel presente rapporto sono illustrate tutte le attività (studi, azioni ed interventi) che, nel contesto di accordi con le amministrazioni locali riguardanti la tutela della salute e dell'ambiente, sono state svolte dalla Raffineria di Sannazzaro per la salvaguardia del patrimonio idrico sotterraneo interessato dallo stabilimento.

2. DESCRIZIONE DELLO STABILIMENTO.

La costruzione della Raffineria è iniziata nel 1961, ed i primi impianti, (Topping e Reforming catalitici) sono stati avviati nel 1963.

Negli anni successivi la Raffineria ha effettuato numerosi interventi volti ad accrescere le proprie capacità di lavorazione e di conversione, al fine di consentire un sempre migliore sfruttamento della materia prima disponibile nel contenimento dei consumi.

Il Decreto ministeriale n. 6300 del 20 Giugno 1963 ha conferito alla Raffineria una concessione della durata di 20 anni per una capacità di lavorazione pari a 4 Milioni di tonnellate di greggio annue, più il 30 %.

Il Decreto ministeriale n. 10371 del 7 Agosto 1972 ha autorizzato un ampliamento della capacità di lavorazione a 10 Milioni di tonnellate annue, estendendo la concessione al 1992.

Il Decreto ministeriale n° 15567 del 7 Agosto 1993 ha rinnovato la concessione sino al 7 Agosto 2012.

Il ciclo produttivo è descritto in allegato n° 1.

L'ampliamento della capacità di lavorazione ha portato alla costruzione di nuovi impianti e all'ampliamento del parco serbatoi, sino ad occupare l'estensione attuale.

Le prime modifiche strutturali rilevanti risalgono all'inizio degli anni 70, con la costruzione del gruppo impianti "isola 7" e con l'ampliamento del parco serbatoi.

Le successive rilevanti trasformazioni risalgono all'inizio degli anni 90 con la costruzione del gruppo impianti "isola 13".

La sequenza costruttiva è illustrata nella seguente figura:

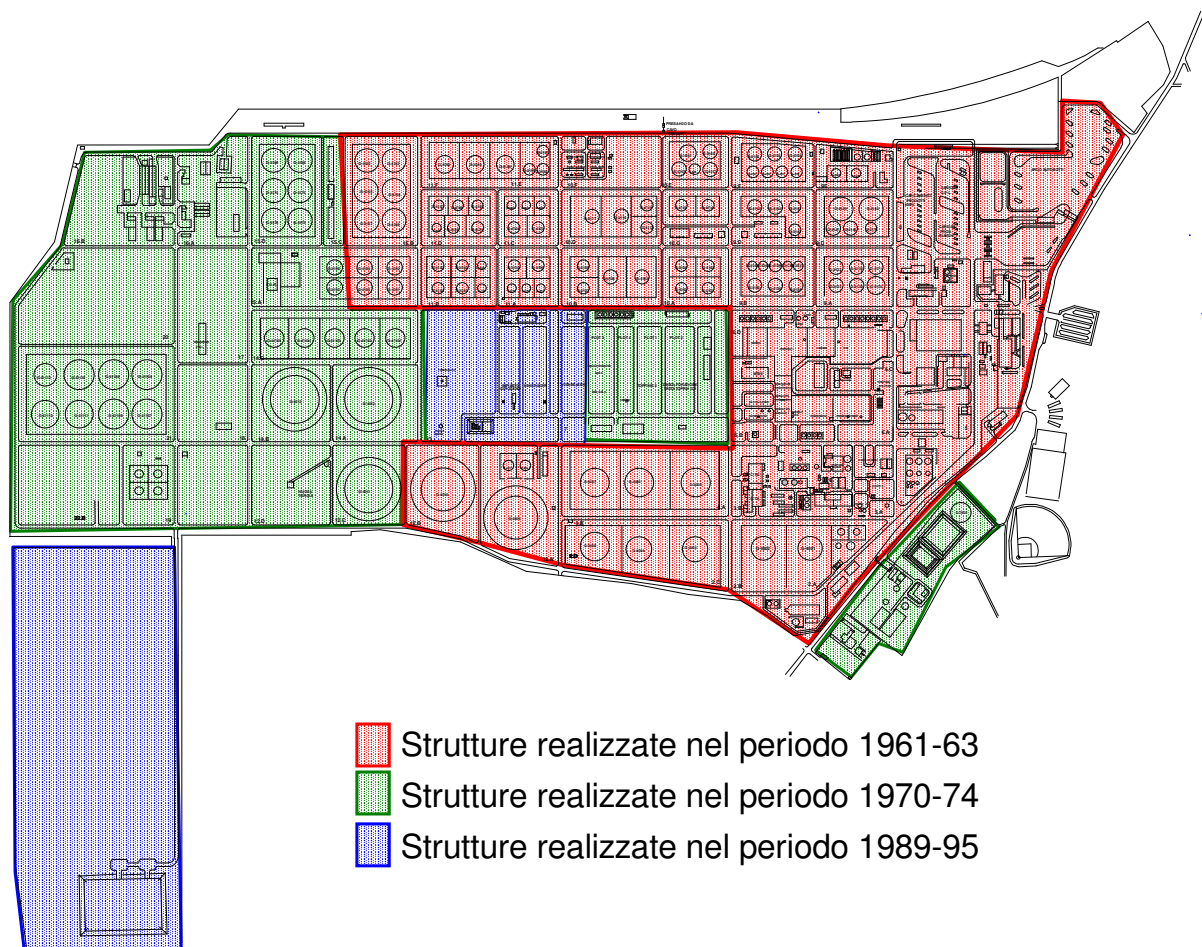


Figura 1: Successione delle sequenze costruttive

3. DESTINAZIONE D'USO DEI TERRENI DELLA RAFFINERIA PREVISTA DAGLI ATTUALI STRUMENTI URBANISTICI.

La Raffineria di Sannazzaro è ubicata sulla riva sinistra del fiume Po, nel territorio dei comuni di Sannazzaro de' Burgondi e Ferrera Erbognone a sud della linea ferroviaria Pavia - Alessandria, in Provincia di Pavia, occupando un'area di circa 230 ettari, dei quali 160 nel Comune di Sannazzaro de' B. ed i restanti nel Comune di Ferrera Erbognone.

3.1 Piano Regolatore Generale del Comune di Sannazzaro.

Il piano regolatore del comune di Sannazzaro è stato approvato dalla R. Lombardia nel 1981 e successivamente modificato dall'Amministrazione Comunale che ha introdotto alcune varianti necessarie per adeguare la pianificazione alle mutate esigenze territoriali, sociali e produttive.

La revisione generale al P.R.G. è stata approvata nel 1999.

L'area occupata dalla raffineria è destinata a "zona produttiva speciale degli impianti petroliferi". Altre zone produttive sono individuate a ridosso del territorio comunale, in particolare nei pressi della ferrovia, subito a N del territorio occupato dalla Raffineria.

Lungo il contorno degli insediamenti industriali e all'interno delle aree intercluse tra altre zone edificate, sono presenti aree inedificate che non presentano valori ecologici rilevanti.

Tali aree costituiscono così zone filtro nei confronti delle interferenze generate dall'esercizio delle attività industriali.

In queste zone di filtro ambientale è consentita l'attività agricola e sono vietate nuove edificazioni.

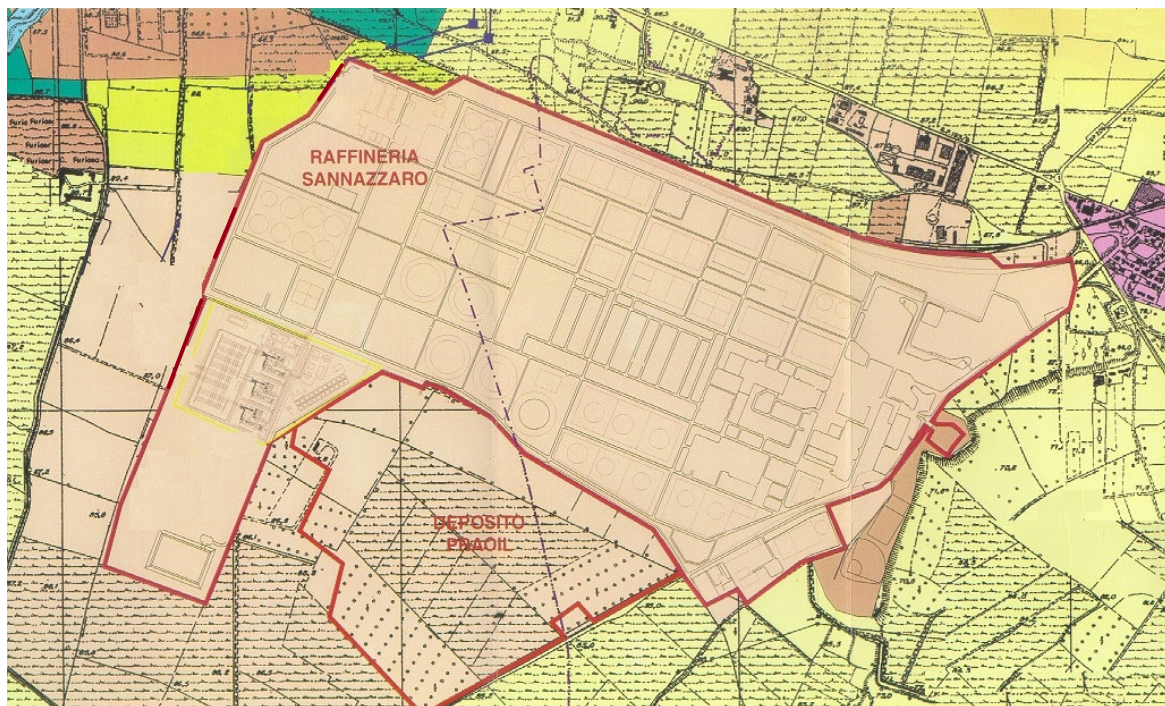
3.2 Piano Regolatore Generale del comune di Ferrera.

Il Piano Regolatore Generale, adottato dal consiglio comunale nel 1984, è stato approvato dalla R. Lombardia nel 1987.

L'ultima variante al P.R.G. è stata approvata dalla Giunta Regionale nel 1995.

La raffineria è insediata all'interno della zona classificata produttiva.

La classificazione urbanistica delle aree adiacenti lo stabilimento AgipPetroli è illustrata nella fig. 2



Carta dei vincoli urbanistici







 Zona a destinazione preval. residenziale	 Zona a destinazione agricola	 Zona a parco naturale
 Zona a destinazione produttiva	 Zona a verde privato	 Zona a verde pubblico

Fig. 2: Carta dei vincoli urbanistici.

4. SINTESI DELLE AZIONI E DEGLI ATTI DI SALVAGUARDIA AMBIENTALE.

Nell'Agosto 1979 l'azienda inoltrò domanda al Ministero dell'Industria, e per conoscenza al Comune di Sannazzaro de Burgondi, per adeguare la capacità di trattamento degli impianti a valle dell'impianto di Distillazione Primaria.

Il Comune, a fronte della richiesta della raffineria, in mancanza di specifiche normative ambientali, chiese di sottoscrivere una Convenzione definita "Atto di Sottomissione" finalizzata alla tutela della salute e dell'ambiente.

La Convenzione fu stesa ed approvata dal Consiglio Comunale con apposita delibera e sottoscritta dalla raffineria con rogito notarile in data 6 Novembre 1981

La raffineria s'impegnò a:

- a) contenere l'inquinamento dell'aria, dell'acqua e del suolo, riducendo altresì le emissioni di rumore e di luce;
- b) Predisporre annualmente piani di manutenzione programmata comunicandone i contenuti al comune;
- c) fornire il piano atto a fronteggiare eventuali situazioni di emergenza e grandi rischi;
- d) collaborare all'indagine epidemiologica che sarebbe stata eseguita dall'Amministrazione Pubblica, al fine di accertare eventuali effetti che l'esercizio della raffineria potesse eventualmente comportare per la salute dei cittadini.

In particolare, per quanto riguarda il settore delle acque, la Raffineria si impegnò:

- a) a contenere i prelievi di acqua per usi industriali;
- b) ad osservare il rigoroso rispetto della tabella A, della l. 319/76, per quanto riguarda gli scarichi in acque superficiali;
- c) a trivellare pozzi spia opportunamente attrezzati per il prelievo dell'acqua di falda al fine di monitorare eventuali fenomeni di inquinamento dell'acquifero;

L'Atto di Sottomissione prevedeva la creazione di un'apposita Commissione Comunale di sorveglianza con rappresentanti scelti dal comune tra i vari Enti locali (USSL, CRIAL, Comune, Provincia, PMIP, ecc.).

La Commissione Comunale di sorveglianza aveva la funzione di vigilanza e di controllo degli obblighi previsti nell'Atto di Sottomissione.

Nel 1984, a fronte di quanto previsto dalla Convenzione di Salvaguardia Ambientale, sulla base delle prime informazioni relative alla caratterizzazione idrogeologica dell'area interessata dallo stabilimento, la raffineria predispose una strategia di intervento di protezione della falda, consistente nella realizzazione di una barriera idrodinamica di protezione e prevenzione.

Nell'estate del 1984 Vennero perforati 4 pozzi che costituiscono la prima barriera di protezione della raffineria.

Al fine di controllare la qualità delle acque circostanti lo stabilimento, nel Gennaio 1986 i Rappresentanti della Commissione chiesero di dar corso all'installazione di un anello di monitoraggio esterno alla raffineria finalizzato al monitoraggio della falda superficiale circostante lo stabilimento, definendo la posizione delle perforazioni stesse.

Successivamente la raffineria comunicò l'attivazione dell'anello di monitoraggio esterno composto da 9 piezometri.

L'anello di monitoraggio aveva ed ha la funzione di permettere un controllo puntuale della falda circostante la raffineria.

Nel Gennaio 1987, a seguito di una ulteriore richiesta della Commissione stessa, la raffineria concordò la costruzione di un anello di monitoraggio interno costituito da 4 piezometri, avente la funzione di monitorare la falda profonda.

A partire dal 1987 gli anelli di monitoraggio interno ed esterno, sono stati controllati regolarmente con frequenza quadrimestrale dai tecnici della Commissione Comunale.

Nel 1987, la raffineria presentò al Comune il progetto di installazione di una trincea di protezione esterna.

L'opera, costituita da una trincea drenante lunga circa 600 metri con la funzione di captare e rilanciare in stabilimento le acque emergenti al piede della scarpata, fu autorizzata dal Comune di Sannazzaro nell'Aprile 1987 e completata nel corso dello stesso anno.

Nel 1989, in relazione alla richiesta di costruzione di nuovi impianti, il Comune di Sannazzaro approvò una delibera per il rinnovo della Convenzione di Salvaguardia Ambientale.

La nuova Convenzione prevedeva, tra l'altro, l'affidamento all'Università di Pavia dello sviluppo di un "Progetto Ambiente" per la valutazione dell'impatto dell'insediamento industriale sul territorio circostante, per tutte le componenti ambientali.

Lo studio, fu sviluppato in 13 temi di cui tre riguardanti suolo e sottosuolo circostante la raffineria.

In particolare l'indagine idrogeologica sviluppata dal Dipartimento di Scienze della Terra di Pavia aveva lo scopo di valutare il grado di vulnerabilità delle falde acquifere, e quindi il pericolo di inquinamento delle stesse da parte di contaminanti eventualmente emessi dalla Raffineria.

Analogamente il Dipartimento di Ingegneria Idraulica realizzò uno studio per monitorare l'influenza che eventuali interferenze di liquidi dispersi nell'area industriale potevano avere sulle caratteristiche qualitative dei deflussi in falda.

Tutti gli studi dimostrarono che le falde acquifere circostanti lo stabilimento non erano coinvolte in eventuali fenomeni di inquinamento.

Gli studi dimostrarono anche che la falda influenzata dalla raffineria, in base all'andamento delle isopieze, non interferiva con l'acquifero sottostante i paesi limitrofi, e di conseguenza con il sistema di approvvigionamento idrico degli stessi.

Nel 1993 i Comuni di Sannazzaro e Ferrera, agendo congiuntamente, deliberarono il rinnovo della Convenzione in aggiornamento alla precedente convenzione del 23 Gennaio 1990.

Nell'annesso tecnico "emissioni e controlli" era specificato il programma dei controlli analitici sulle emissioni gassose, liquide e solide dello stabilimento.

La raffineria, nell'ottica della strategia adottata per la protezione totale e definitiva della falda sottostante lo stabilimento, nel 1998 ha completato il piano di interventi iniziato nel 1984 e costituito da:

- ampliamento della prima barriera idrodinamica di protezione interna mediante la costruzione di ulteriori 4 pozzi;
- realizzazione di una trincea di protezione esterna;
- realizzazione di una 2° barriera idrodinamica a protezione dell'area a valle del parco serbatoi e contestuale realizzazione di un impianto di pretrattamento dell'acqua emunta;
- realizzazione di una 3° barriera idrodinamica a protezione della zona a valle delle aree di processo.

5. INQUADRAMENTO LITOSTRATIGRAFICO E IDROGEOLOGICO GENERALE.

5.1 Caratteri litostratigrafici.

I principali caratteri litostratigrafici dell'area in esame sono rappresentati nella Figura 3 estratta dalla Carta Geologica d'Italia - Foglio Mortara in scala 1: 100.000.

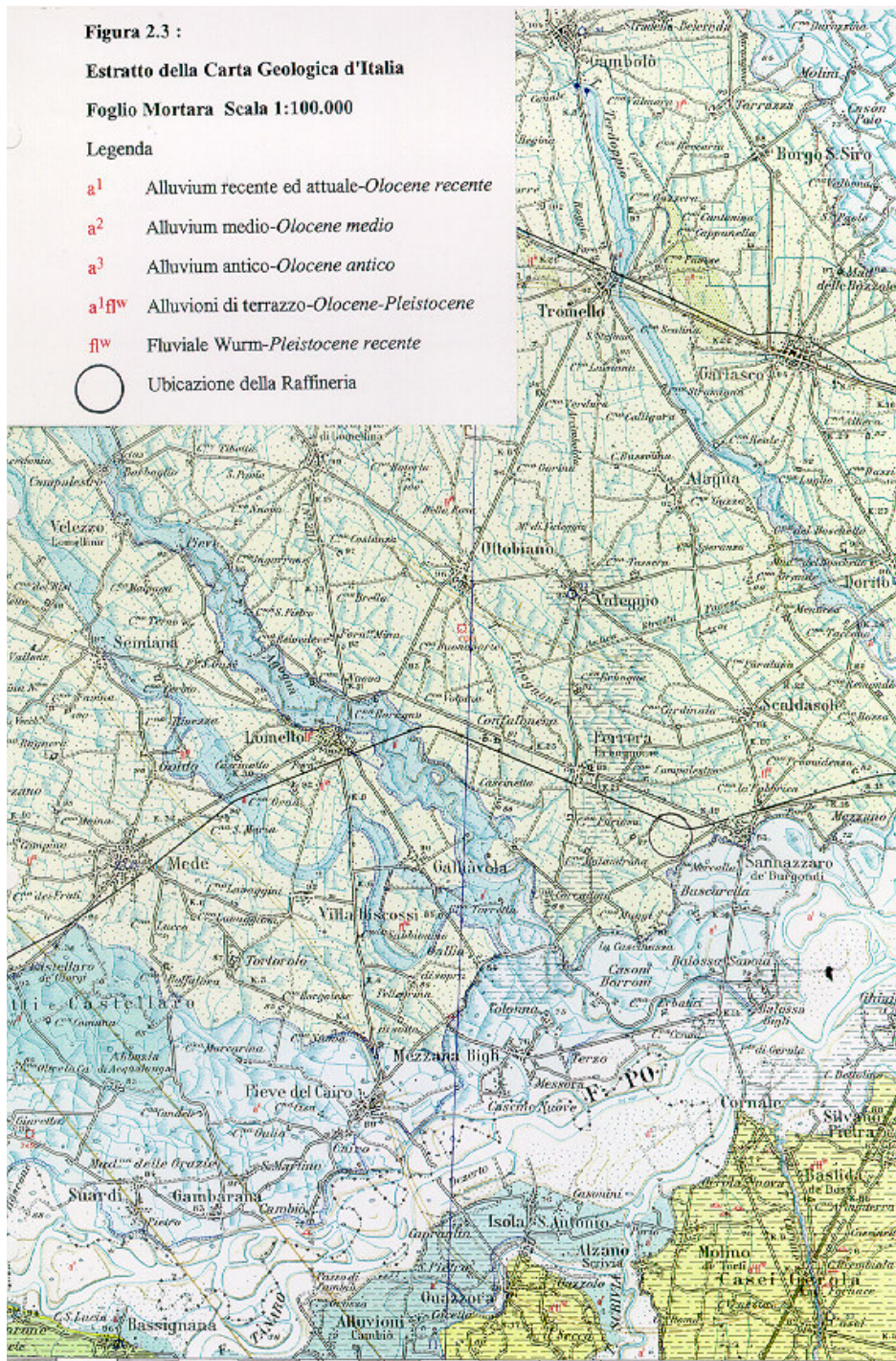


Fig. 3: carta geologica

La Raffineria è ubicata nell'estremità meridionale delle "Alluvioni fluviali, per lo più sabbiose, talora limose, con debole alterazione ocracea o bruna nella sola parte superficiale: livello principale della pianura (Fluviale Wurm)" e riferibili al Pleistocene recente. Nella zona sotto al terrazzo alluvionale a sud dell'insediamento industriale, i sedimenti sono costituiti da "Alluvioni sabbioso - ghiaiose fissate dagli alvei abbandonati, debolmente sospese ed eccezionalmente esondabili (Alluvium medio)" riferibili all'Olocene medio. E' peraltro da rilevare che nel sottosuolo dell'area in esame non sono indicate strutture tettoniche di rilievo.

La composizione litologica, l'assetto strutturale dei depositi alluvionali e la presenza di livelli argillosi che separano i diversi orizzonti acquiferi, determinano una circolazione idrica per falde sovrapposte (l'area è caratterizzata da un sistema multifalda visualizzato, a scala regionale, nella sezione idrogeologica di figura 4). Tra le falde esistenti quella sommitale è di tipo freatico ed è in connessione col reticolato idrografico superficiale.

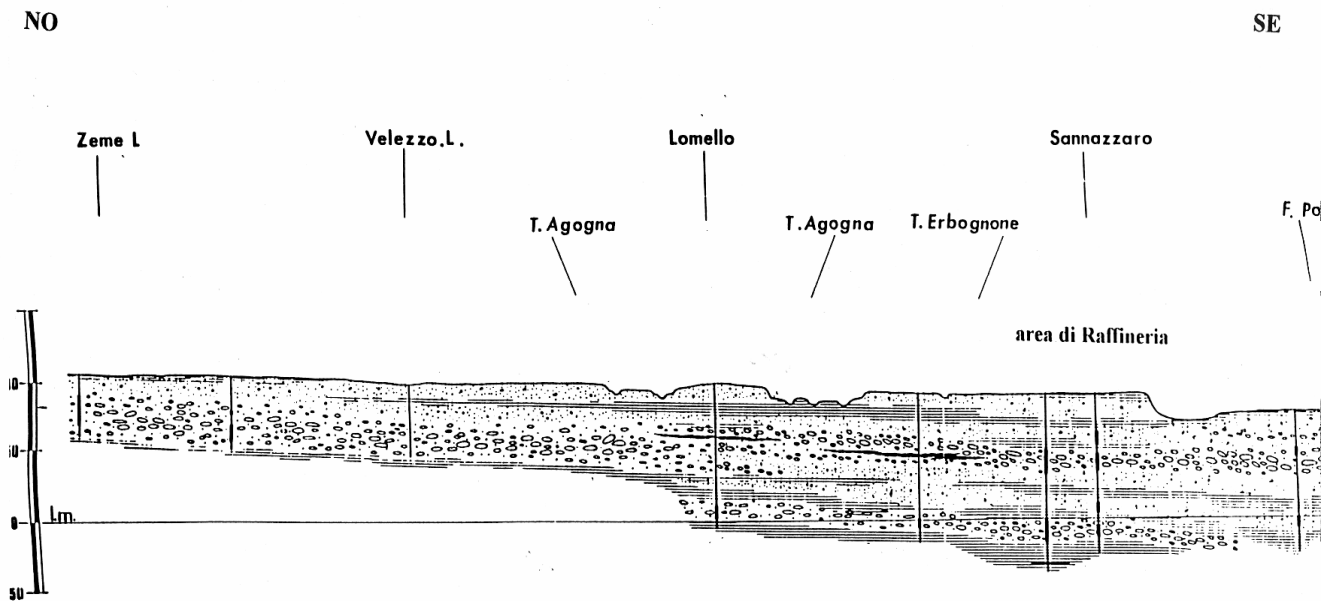


Figura 4: Inquadramento idrogeologico regionale.

Alcuni dei livelli argillosi, presenti nel sottosuolo, sembrano avere un'estensione laterale limitata e si presentano come lenti, il cui spessore si riduce progressivamente; altri invece sono chiaramente correlabili tra loro, manifestando una certa continuità.

Di conseguenza gli strati a granulometria più grossolana, aventi elevati valori di permeabilità, danno luogo ad acquiferi che in alcuni casi possono essere in comunicazione tra loro, in altri possono rappresentare delle falde artesiane confinate a tetto ed a letto da strati impermeabili continui.

In linea generale, i terreni presenti nell'area su cui è impostata la raffineria sono caratterizzati da una marcata variabilità litologica e granulometrica sia verticale che orizzontale, tipica dell'ambiente di sedimentazione alluvionale - fluviale in cui si sono depositate; le varie formazioni alluvionali sono disposte in strati sovrapposti che si interdigitano, perciò il sottosuolo risulta costituito da un'alternanza di livelli argillosi (localmente più o meno sabbiosi), di livelli sabbiosi (di granulometria medio-fine) e ghiaiosi-sabbiosi.

La successione litostratigrafica risulta così schematizzabile, partendo dal piano campagna sino a circa 200 metri di profondità:

- strato superficiale poco permeabile di limo più o meno sabbioso di spessore variabile, fino ad una profondità compresa tra 3-4 metri;
- sabbie a granulometria da finissima a media, con intercalazioni lentiformi di argilla fino a circa 60-65 metri; gli orizzonti impermeabili non sono caratterizzati da continuità laterale, apparendo piuttosto come lenti di estensione più o meno limitata.
- orizzonte argilloso potente sino a 15 metri posto ad una profondità di 60-70 metri dal piano campagna.; tale acquicludo, sempre chiaramente individuabile, è lateralmente continuo.
- orizzonti permeabili costituiti da sabbie generalmente medie in successione sino ad una profondità di circa 200 metri intercalati da acquicludi, costituiti da banchi di argilla di notevole potenza.

L'acquifero costituito da tale successione è sede di una falda superficiale freatica con direzione di flusso da NW verso SE.

I livelli argillosi che separano i diversi orizzonti acquiferi, danno luogo ad un sistema multifalda, così come visualizzato nella sezione idrogeologica di dettaglio, riportata in fig. 5.

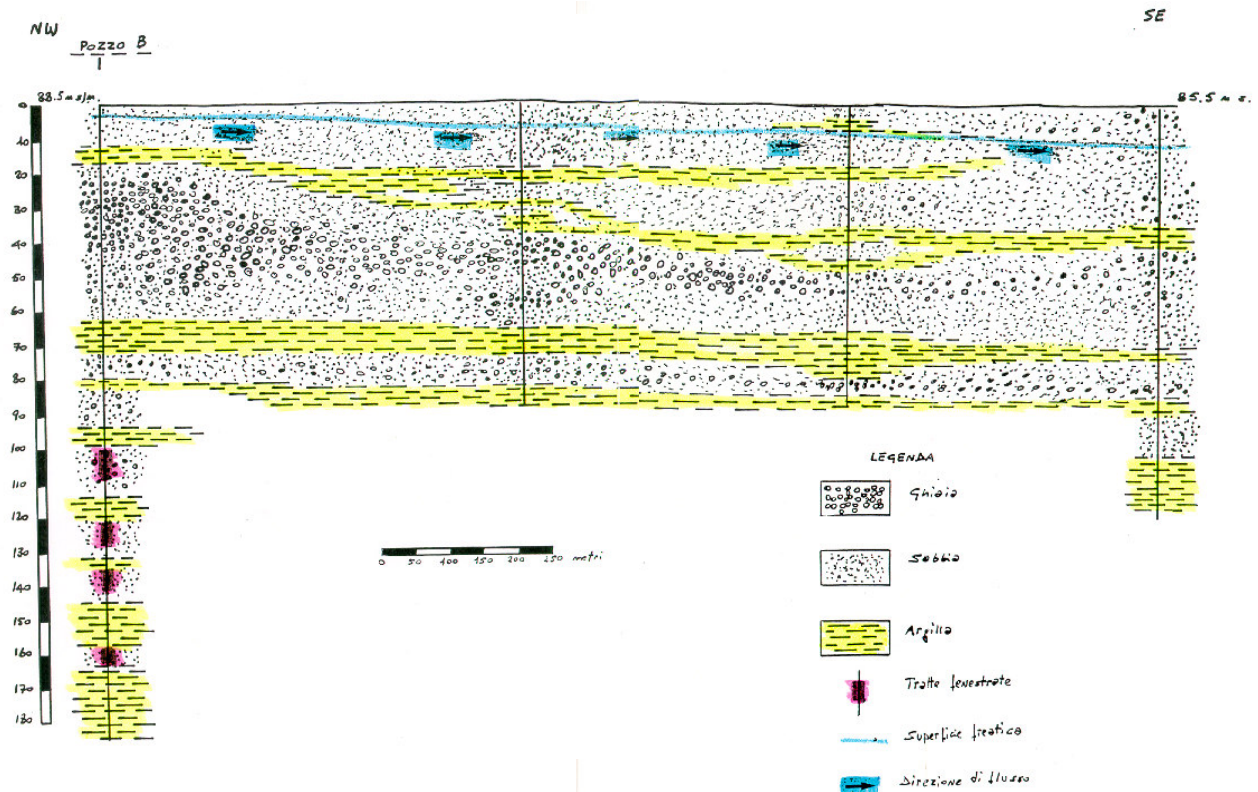


Fig. 5: profilo stratigrafico dell'area di raffineria

Tale situazione riscontrabile dei terreni sottostanti la raffineria, è ricavata dai profili stratigrafici dei pozzi per uso potabile ed antincendio e dai piezometri dell'anello di monitoraggio interno.

Grazie alla presenza dell'orizzonte argilloso, che offre una protezione naturale sicura, non sussistendo ulteriori possibili punti di permeazione della falda freatica verso le falde sottostanti, la vulnerabilità degli acquiferi artesiani profondi può essere considerata nulla.

Nel ripiano sottostante il terrazzo pleistocenico, in corrispondenza della base di scarpata, la successione litostratigrafica è costituita da un banco continuo di limo dallo spessore di 3-5 m che, ostacolando il deflusso dell'acqua, favorisce la venuta a giorno della falda freatica con la formazione delle risorgive di scarpata .

5.2 Caratteri idrogeologici.

L'esame dei dati stratigrafici disponibili, per l'area di studio e le misure dei livelli piezometrici permettono di individuare l'esistenza di un primo acquifero, compreso nei primi 60-70 metri di profondità, il cui livello statico è molto prossimo al piano campagna (7-10 metri dalla superficie topografica).

L'acquifero nella sua porzione più superficiale è sede di una falda freatica, il cui limite inferiore è situato a circa 30 m s.l.m.

La porzione più superficiale dell'acquifero freatico è generalmente costituita da terreni limosi poco permeabili, mentre al di sotto si trovano sabbie medio-fini a permeabilità discreta.

Nel periodo di massimo innalzamento della falda, l'acquifero può assumere carattere semi-confinato, con tetto rappresentato dallo strato di limo superficiale; inoltre è fortemente connesso, dal punto di vista piezometrico, al reticolo idrografico superficiale.

L'andamento, a livello regionale, delle isofreatiche dell'acquifero freatico è rappresentato in Figura 6.

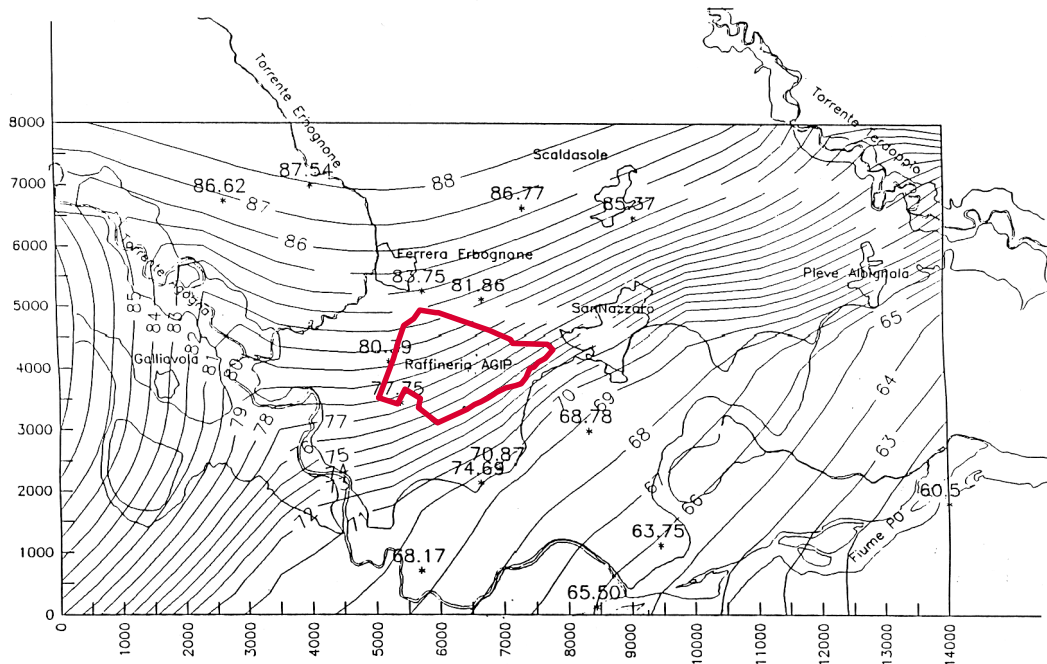


Figura 6: Mappa regionale delle isofreatiche.

Il flusso principale di falda è diretto nella porzione di pianura compresa tra il Torrente Erbognone ed il Torrente Terdoppio, da NNW verso SSE.

Le isolinee si presentano subparallele tra loro e con un'equidistanza che va riducendosi da monte verso valle, sino a presentarsi molto ravvicinate all'approssimarsi del terrazzo alluvionale, evidenziando quindi un progressivo aumento del gradiente idraulico della falda.

Le isopieze, all'approssimarsi del Fiume Po, tendono a ruotare in direzione NS, sino a disporsi localmente in direzione parallela al flusso del fiume.

L'effetto di drenaggio del Torrente Agogna si fa sentire fortemente sul moto di falda nella zona al disopra del terrazzo alluvionale, dando una forte curvatura locale alla superficie freatica; nella valle al di sotto del terrazzo, invece, l'Agogna passa a condizioni di equilibrio, o di lieve ravvenamento, nei confronti della falda. Il Torrente Terdoppio ha lo stesso comportamento drenante nei confronti della falda, mentre il Torrente Erbognone sembra alimentarla.

L'acquifero più superficiale, è costituito da un complesso permeabile, formato da sabbie sciolte a granulometria da finissima a media, con intercalazioni lentiformi di limo-argilla e di ghiaia, sovrastato da un livello poco permeabile, di spessore variabile, di limo più o meno sabbioso.

5.3 Caratteri principali della falda freatica sottostante la raffineria.

La rete di piezometri esistente in raffineria è stata integrata, nel corso degli anni da ulteriori punti di misura, per le seguenti esigenze per sostituire piezometri eliminati a causa della costruzione di nuovi impianti e per disporre di sufficienti punti di misura per lo studio dettagliato dello stato dell'inquinamento e per la progettazione delle barriere di protezione;

I numerosi dati disponibili, relativi alle misure di livello, effettuate in periodi diversi, del considerevole numero di piezometri e di pozzi all'interno dell'area della raffineria, hanno consentito di individuare i caratteri dettagliati della falda freatica sottostante lo stabilimento, ed in particolare gli aspetti fondamentali riguardante la direzione di flusso ed il regime piezometrico.

La direzione principale di flusso della falda risulta orientata da NNW verso SSE, con un gradiente idraulico variabile da un minimo di 0,4% a monte dell'insediamento ad un massimo di 1,2% a valle (Figura 7).

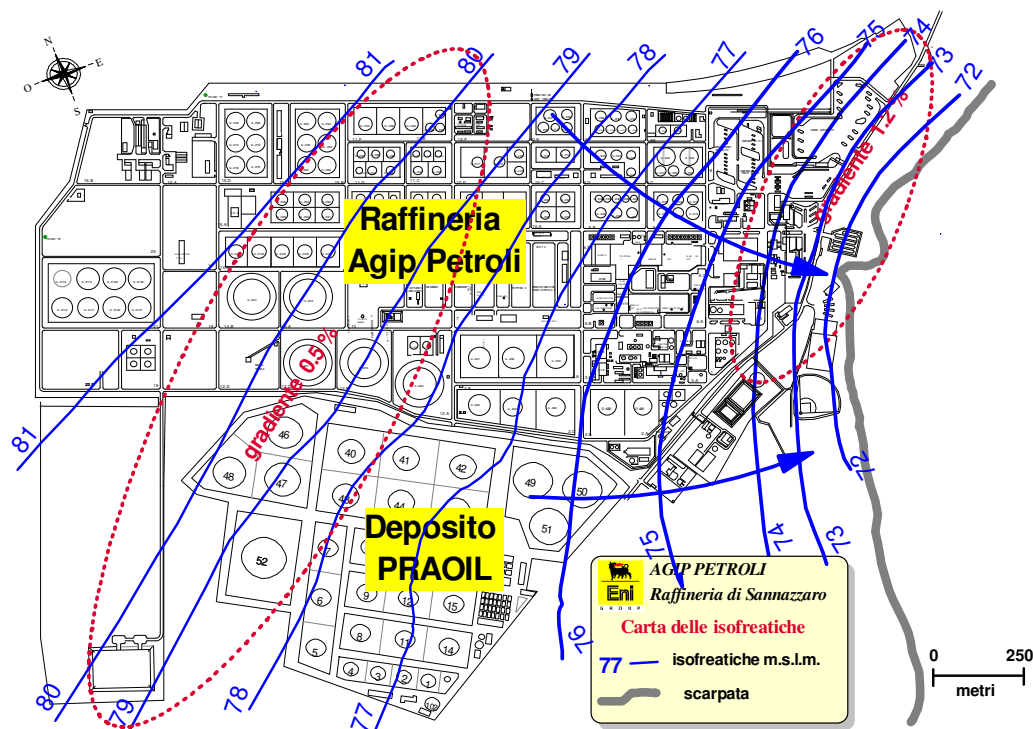


Fig. 7: Carta delle isofreatiche

La ricostruzione litostratigrafica del sottosuolo basata sui dati ricavati dalle perforazioni, ha evidenziato una certa variabilità sia in senso orizzontale che verticale dei litotipi presenti, incidendo pesantemente sull'omogeneità e sull'isotropia dell'acquifero; sono state infatti rilevate delle lenti limose e argillose, che, a causa di un diverso grado di pulizia delle sabbie, provocano differenze di permeabilità nell'acquifero.

L'anisotropia del terreno provoca variazioni di velocità nelle acque circolanti attraverso i pori dei sedimenti.

La portata della falda si mantiene in ogni caso costante nelle sezioni ortogonali alla direzione di flusso.

Prove realizzate su alcuni pozzi hanno permesso di ricavare informazioni relative alle caratteristiche dell'acquifero.

La definizione delle caratteristiche idrauliche della falda è stata sviluppata considerando un valore medio di Trasmissività pari a $4,85 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$, ottenuto mediando i valori di trasmissività risultanti dalle prove eseguite.

La permeabilità K media è pari a circa $9,7 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$, con un gradiente idraulico medi di 0,008; di conseguenza la velocità apparente della falda, risulta pari a $7,8 \cdot 10^{-7} \text{ m/s}$.

Assunta una porosità efficace del 20%, la velocità reale media di falda è di $v = 3,88 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$, corrispondente a circa 0,35 m/giorno.

La falda freatica risulta in netto collegamento col reticolato idrografico superficiale; risultano infatti di notevole importanza le variazioni del livello freatico rispetto al piano campagna.

Il regime piezometrico subisce delle leggere oscillazioni dovute al regime dei corsi d'acqua superficiali e a quello pluviometrico, ma le variazioni più consistenti sono causate dalle irrigazioni agricole, che interessano tutto il territorio; nella zona esiste uno sviluppato sistema di canali artificiali, non rivestiti, utilizzati per l'irrigazione del riso, la cui coltivazione richiede una sommersione prolungata dei campi.

Le misure del livello statico della falda evidenziano un'oscillazione stagionale del regime piezometrico, che, con ciclicità annuale, registra valori di livello massimo fra Agosto e Settembre e livelli di minimo tra Marzo e Aprile; ciò dimostra lo stretto rapporto esistente tra la superficie freatica e l'alimentazione irrigua delle risaie circostanti la Raffineria.

La conoscenza dei valori di massimo e minimo delle oscillazioni della falda è di particolare importanza nella progettazione dei pozzi di emungimento, in quanto consente di stabilire correttamente le quote di posizionamento delle tratte filtranti e dei dreni e quelle di installazione delle pompe di emungimento. Dall'esame del regime freaticometrico si confermano le oscillazioni stagionali relativamente costanti e caratterizzate da valori di "falda bassa" nel mese di Aprile e valori di "falda alta" nel periodo compreso fra Agosto e Settembre.

6. MISURE DI SICUREZZA

6.1 Strategia di intervento.

Le prime rilevazioni sulla falda freatica (effettuate sui piezometri realizzati all'inizio degli anni ottanta all'interno dello stabilimento) portarono a identificare modeste perdite del circuito fognario di stabilimento, in massima parte in corrispondenza del parco serbatoi, realizzato agli inizi degli anni 60.

La strategia adottata per la protezione della falda, in accordo con le autorità locali, ha portato alla realizzazione, nel periodo 1984-98, di un piano di interventi diretti ad eliminare l'origine dei fenomeni, a contenere e rimuovere i residui nel suolo, nel sottosuolo e nelle acque sotterranee sottostanti lo stabilimento.

6.2 Opere di tipo preventivo.

La raffineria inoltre si è immediatamente attivata per realizzare una serie di specifici interventi di manutenzione finalizzati ad isolare gli impianti e le infrastrutture.

Nell'ambito della Convenzione di Salvaguardia Ambientale, ogni anno la raffineria presenta alla Commissione Comunale lo stato di avanzamento degli interventi effettuati sul circuito fognario e sul parco serbatoi.

6.2.1 Interventi sul sistema fognario interno.

La rete fognaria è costituita complessivamente da circa 40 Km di condotte interrate, con diametro variabile da 10 a 150 cm.

Essa è suddivisa in 3 tipologie di fogne:

- Circuito fogne oleose;
- Circuito fogne meteoriche;
- Circuito fogne acide;

Il 50% delle condotte è costituito da tubazioni in calcestruzzo ed il restante 50% è costituito da ferro e PVC.

Nel corso degli ultimi 20 anni sono stati programmati ed eseguiti interventi di impermeabilizzazione mediante opere di ricopertura interna con calze continue in vetroresina.

Gli interventi sono stati eseguiti sul sistema fognario oleoso ed acido, inclusi i pozzetti di collegamento, interessando la totalità del parco serbatoi benzine e gasoli, e le tratte di maggiori dimensioni del sistema fognario stesso (fig. 8).

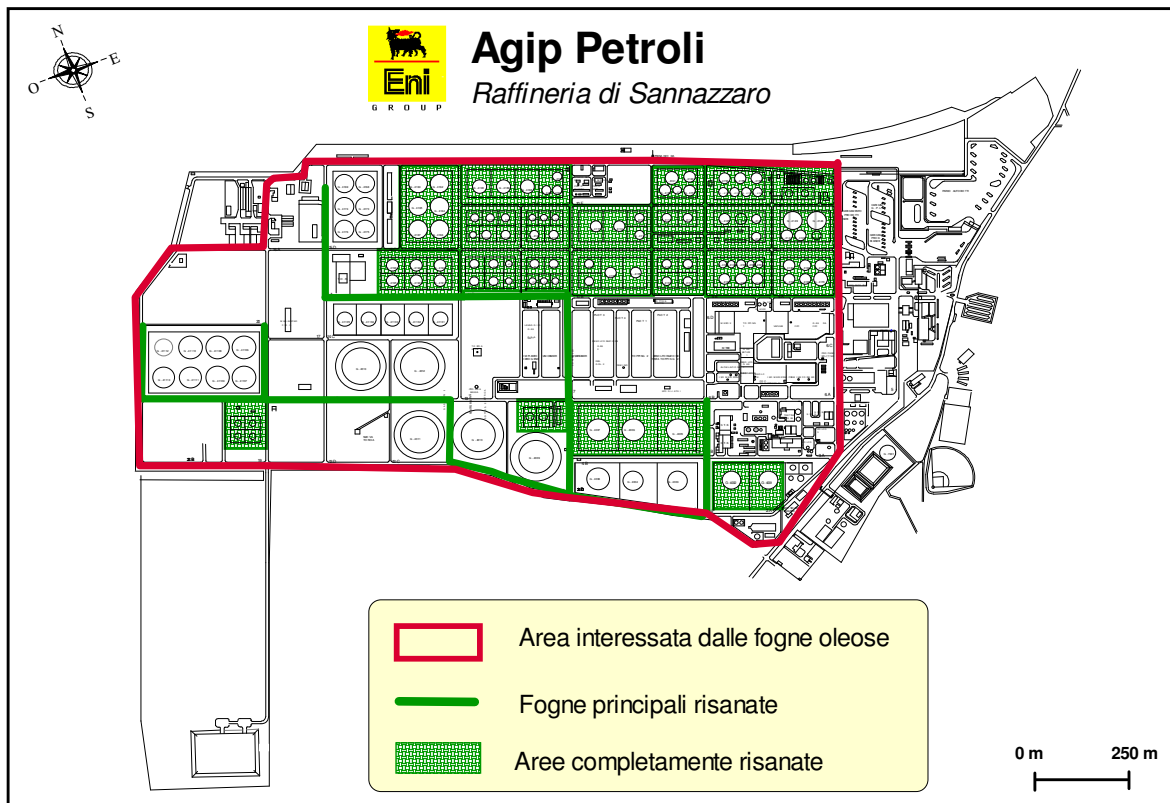


Fig. 8 Aree interessate dal risanamento del circuito fognario

6.2.2 Interventi sul parco serbatoi.

Dal 1983 ad oggi sono state effettuate annualmente ispezioni ai fondi dei serbatoi costituenti il parco di raffineria, intervenendo ove necessario al rifacimento del fondo.

Il programma periodico è ormai praticamente concluso: sul totale del parco serbatoi ne rimangono da verificare 4 che saranno controllati ed ispezionati prossimamente, secondo il programma pluriennale in corso di completamento; la situazione è illustrata in fig. 9.

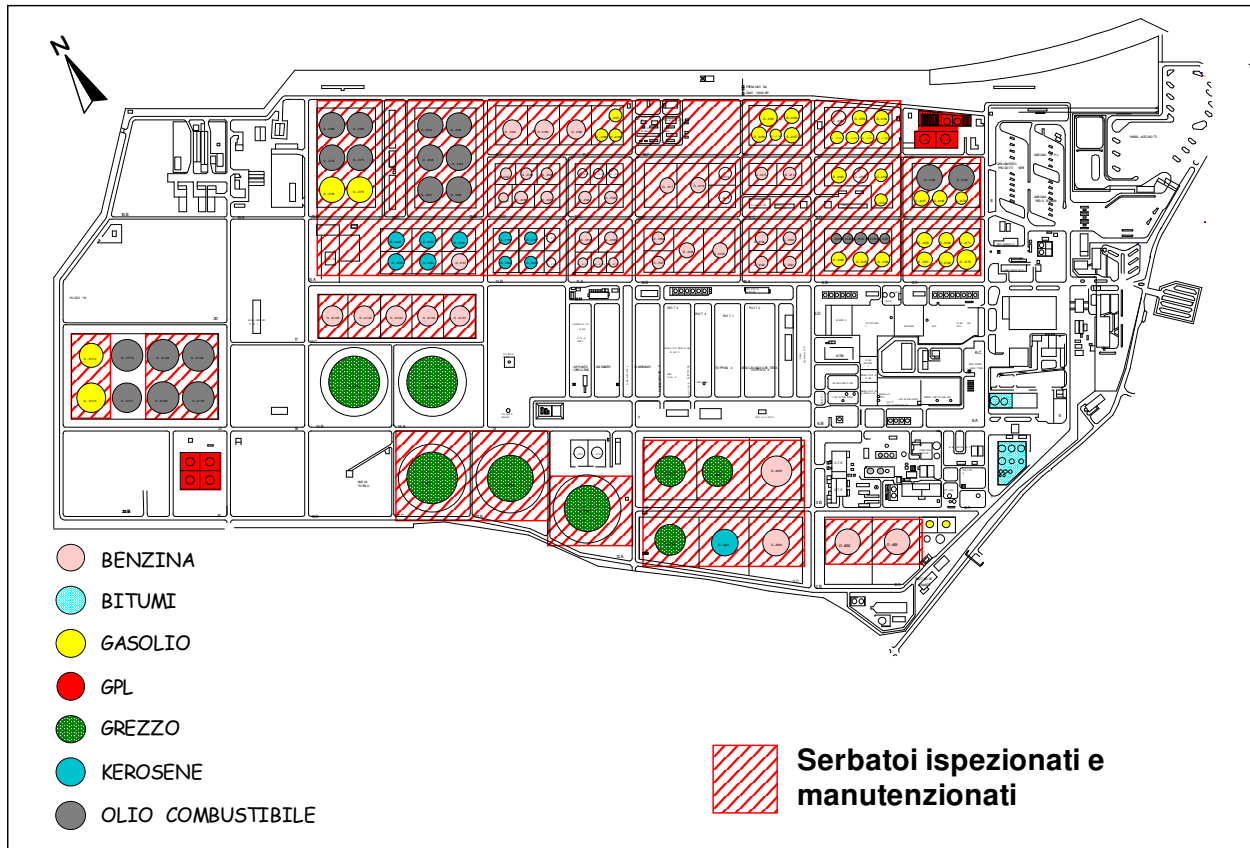


Fig. 9 Serbatoi interessati dalle attività di manutenzione

Contestualmente sono stati eseguiti lavori di impermeabilizzazione dei terreni sottostanti i pettini dei serbatoi stessi, onde evitare eventuale percolazione di idrocarburi nel suolo.

Il programma di revisione del parco serbatoi è ciclico e continuo nel tempo e viene periodicamente rinnovato.

6.3 Opere di protezione e risanamento

Il piano di interventi ha portato alla:

- realizzazione di 3 Barriere di protezione costituite da sbarramenti di pozzi, che assicurano un pompaggio adeguato ad intercettare il flusso di sostanze contaminanti presenti nelle acque sotterranee per sottoporle a trattamenti di disinquinamento;
- costruzione di una Trincea di protezione esterna, costituita da un diaframma impermeabile, posta alla base della scarpata del terrazzo alluvionale.

Gli interventi sono stati realizzati con la seguente sequenza:

- 1983-85 Realizzazione di una prima barriera idrodinamica interna;
- 1987 Realizzazione di una trincea di protezione esterna;
- 1990 Ampliamento della prima barriera idrodinamica di protezione interna;
- 1995-96 Realizzazione di una 2° barriera idrodinamica a protezione dell'area a valle del parco serbatoi e contestuale realizzazione di un impianto di pretrattamento dell'acqua emunta;
- 1997-98 Realizzazione di una 3° barriera idrodinamica a protezione della zona a valle delle aree di processo.

6.3.1 Prima barriera di protezione idrodinamica

La prima barriera è situata a SE dell'Isola 10.A, ed è composta da 5 pozzi (S4÷S8), con diametro interno variabile da 600 a 750 mm e profondità variabile da 21 a 25 metri (fig. 10).

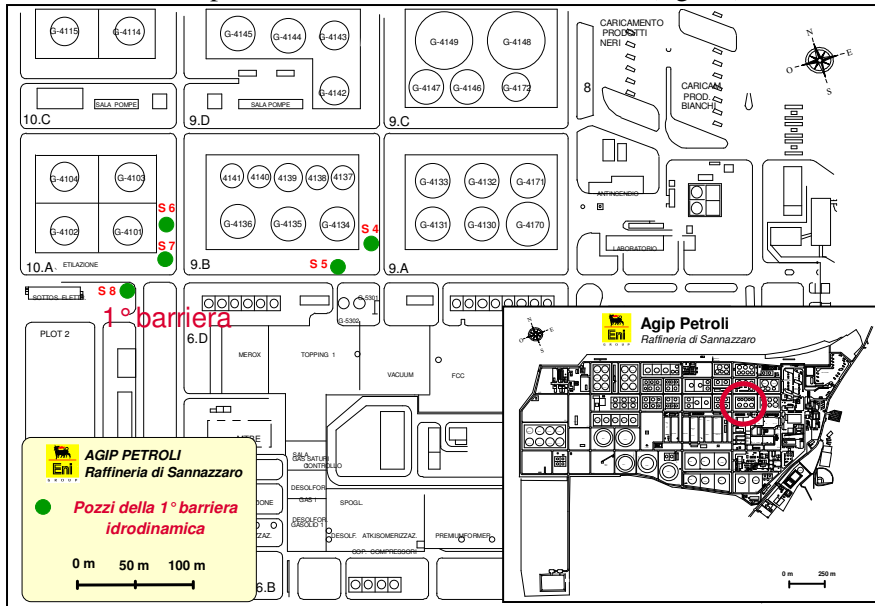


Fig. 10: Posizione della prima barriera di protezione idrodinamica

La barriera è stata infatti progettata e realizzata con lo scopo di intercettare gli idrocarburi sia nelle acque di falda, sia in galleggiamento sulla superficie freatica..

L'opera, realizzata nei primi anni ottanta, era originariamente costituita da 4 pozzi (S1-S4) attrezzati con le prime apparecchiature sperimentali per il recupero degli idrocarburi.

Gli idrocarburi in soluzione e galleggianti sulla superficie freatica, provenienti da perdite pregresse del circuito fognario del parco serbatoi, erano intercettati dai coni di depressione prodotti durante l'emungimento della falda.

Durante l'ampliamento della raffineria, nel 1989/90, alcuni pozzi sono stati eliminati e sostituiti con 4 nuove unità, anch'esse attrezzate con sistemi di pompaggio acqua e recupero dell'olio.

Le attrezzature di recupero erano di nuova generazione e maggiormente efficienti.

Esse erano in fatti in grado di recuperare anche quantitativi minimi di idrocarburi presenti nel raggio di influenza del pozzo.

6.3.2 Seconda barriera di protezione idrodinamica

La seconda barriera di protezione, realizzata a potenziamento ed integrazione della prima, è situata lungo i lati S ed E dell'Isola 9.A, ed è costituita da 11 pozzi (S9÷S15, S18 e S21÷S23), aventi diametro interno di 300 mm e profondità di 20 metri (fig. 11).

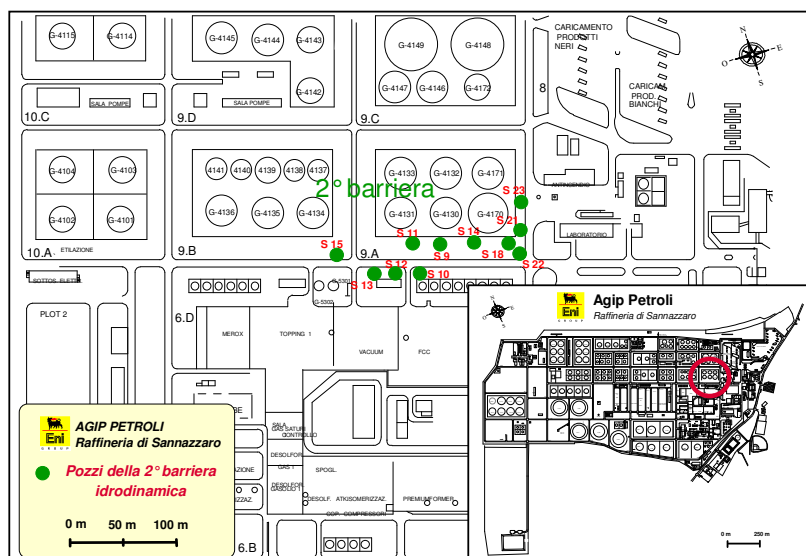


Fig. 11: Posizione della seconda barriera di protezione idrodinamica

Anche la seconda barriera, posta a protezione del parco serbatoi è stata attrezzata con sistemi di pompaggio acqua e recupero dell'olio.

I pozzi facenti parte la seconda barriera, sono stati realizzati nel periodo 1995-96 tenendo conto degli ostacoli presenti nell'area, (serbatoi, strade, ecc.).

Nella progettazione della II° barriera si è tenuto conto della evoluzione e dello sviluppo dei sistemi di recupero dell'olio, in particolare dei sensori di rilevazione dello stesso.

I pozzi realizzati, di dimensioni decisamente ridotte rispetto ai precedenti, hanno permesso di ridurre ed ottimizzare l'emungimento di acqua necessario al funzionamento dei sistemi stessi.

Al fine di trattare l'acqua emunta, è stato realizzato uno specifico impianto di trattamento ad ozono.

La capacità di trattamento dell'impianto è di circa 400 mc/h.

La seconda barriera, oltre ad avere un'alta efficienza di recupero, unitamente alla prima barriera, costituisce un unico sbarramento orientato in direzione W-E, atto ad intercettare, per una estensione di circa 350 metri, il flusso della falda nella zona parco serbatoi.

6.3.3 Terza barriera di protezione idrodinamica

La necessità proteggere da qualsiasi forma di inquinamento l'acquifero posto a valle (in senso idrogeologico) dell'area su cui sono impostati gli impianti di processo, ha reso necessarie ulteriori misure di sicurezza.

Le elaborazioni dei dati ricavati dalle prove idrauliche effettuate sui pozzi delle prime due barriere, unitamente all'analisi della direzione del flusso della falda, e alla dislocazione dei sottoservizi degli impianti dell'isola 6, hanno permesso di fornire gli elementi per la progettazione di una barriera di protezione avente la finalità di intercettare, bloccare ed eliminare qualsiasi forma di inquinamento presente nelle acque di falda (fig. 12).

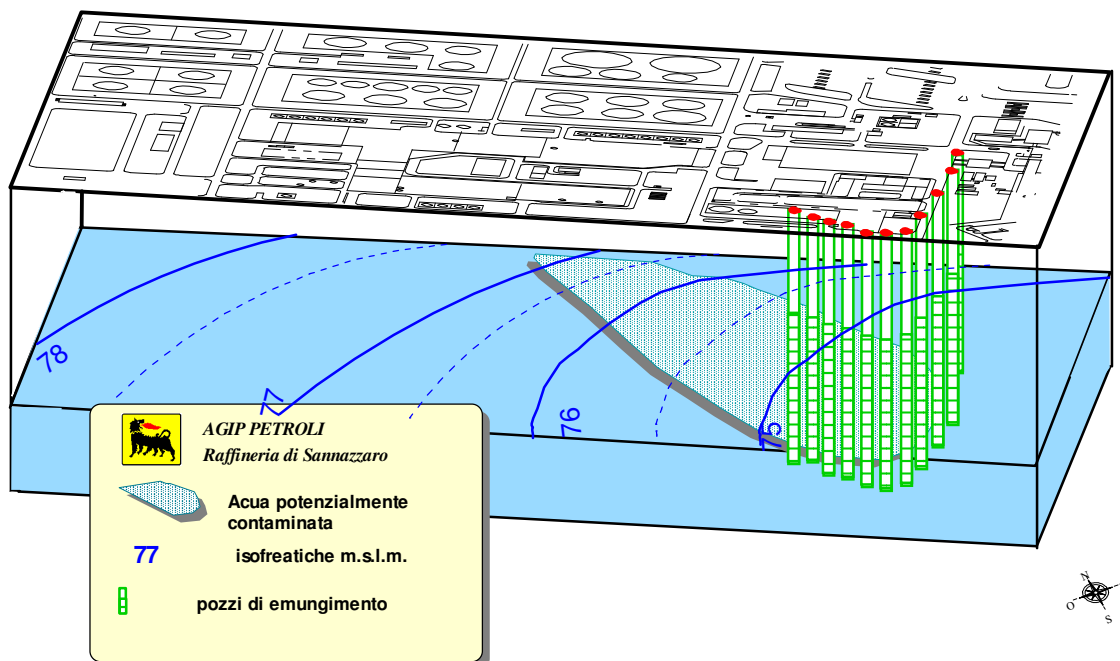


Fig. 12: Schema tridimensionale della terza barriera idrodinamica.

La barriera, realizzata nel 1998, è situata lungo i lati S ed E dell'Isola 9.A, (fig. 13) ed è costituita da 16 pozzi (S24÷S39), aventi diametro interno di 300 mm e profondità circa 20 metri.

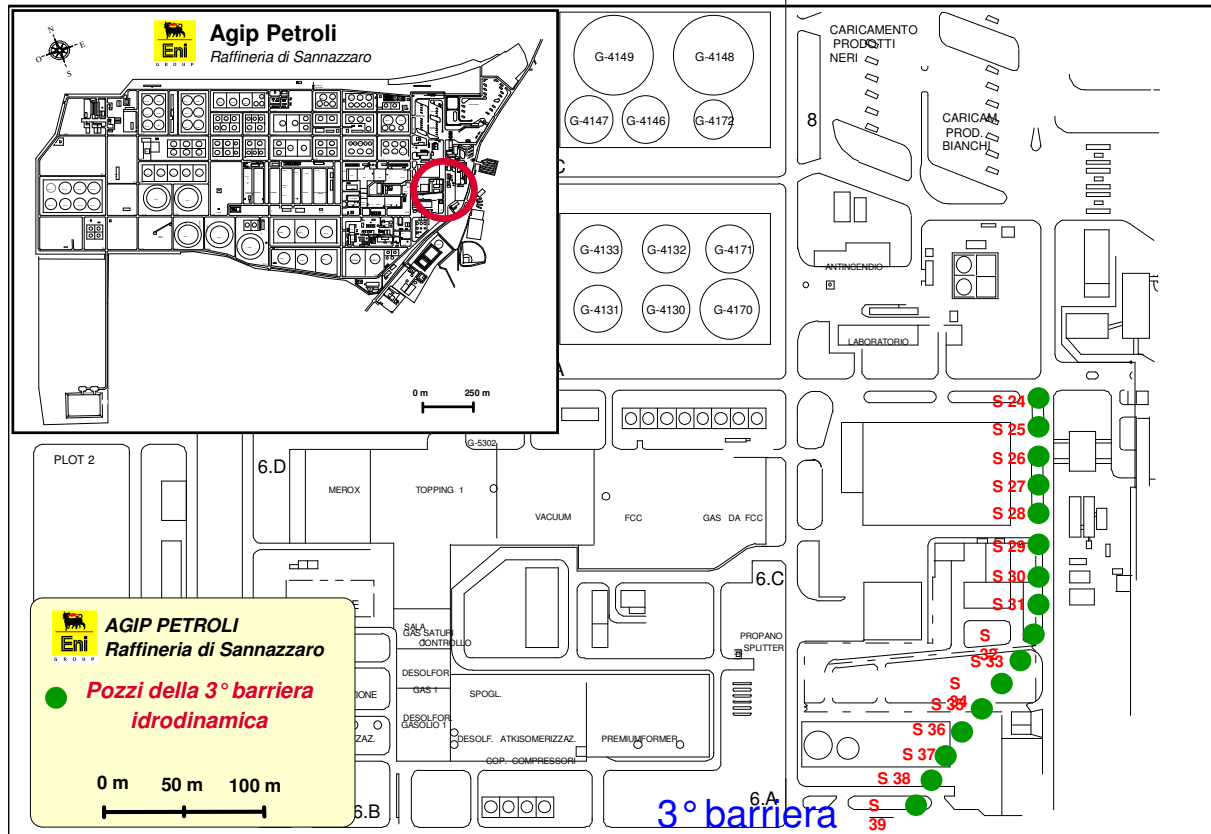


Fig. 13: Posizione della terza barriera di protezione idrodinamica

La terza barriera è attrezzata con sistemi di pompaggio acqua e predisposta per l'installazione di sistemi elettronici per il recupero dell'olio.

La progettazione dell'opera è stata attuata con l'ausilio di modelli matematici e informatici che schematizzano i moti di filtrazione sotterranei reali.

Per le elaborazioni sono stati utilizzati i dati ricavati dalle prove di portata eseguite sui pozzi esistenti; sono stati simulati i coni di influenza dei pozzi e le interferenze reciproche.

Al fine di valutare l'abbassamento di falda in un punto soggetto all'influenza di più pozzi, è stato utilizzato il principio di sovrapposizione degli effetti, applicabile in virtù della linearità delle equazioni che descrivono matematicamente il flusso di falda nel presente caso.

Le elaborazioni eseguite hanno permesso di determinare l'interesse tra i pozzi e la portata di emungimento in funzione della condizione di maggior efficienza dell'opera di protezione.

E' stata inoltre determinata l'inflessione della superficie freatica, prodotta nel punto di interesse, che, anche sulla base di dati sperimentali, produce un abbassamento sufficientemente cautelativo per ottenere la massima efficienza di sbarramento agli idrocarburi solubili ed in galleggiamento, anche nel caso di mancato o non perfetto funzionamento di uno o più pozzi.

La Figura 14 riporta l'abbassamento della superficie freatica secondo una sezione trasversale alla direzione di flusso della falda lungo l'allineamento, rispetto ad una superficie statica con andamento orizzontale, dovuto all'emungimento combinato dei pozzi, con una portata di ogni singolo pozzo di 4 l/s.

Simulazione di una sezione di barriera (8 pozzi)
 $R=35$ m, $T=4,85E-03$, $r=0,25$ m, $interasse=9$ m, $Q=4$ l/s.

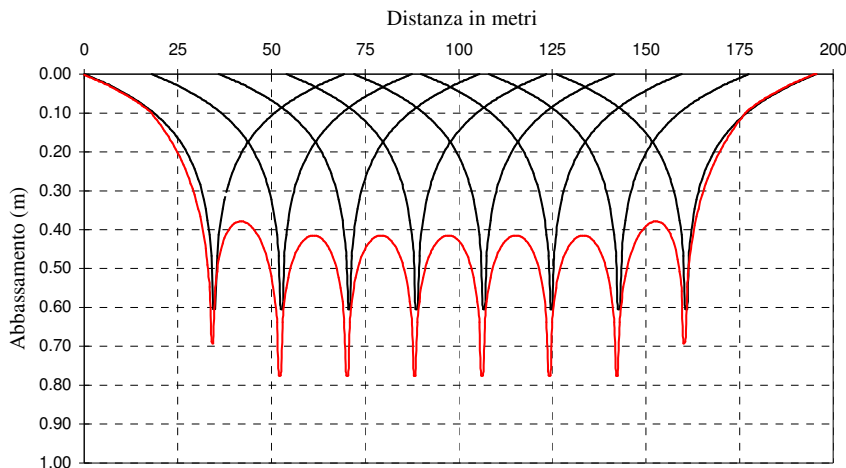


Figura 14: Influenza dei coni di 8 pozzi sulla superficie freatica

La conferma della posizione dei pozzi è stata effettuata in corso d'opera; preventivamente alla terebrazione dei pozzi, sono stati eseguiti sondaggi a carotaggio continuo, nelle posizioni di massima degli stessi. L'analisi dei logs di perforazione, unitamente ai profili verticali di inquinamento, ha consentito, caso per caso, di trasformare il carotaggio, mediante alesaggio del perforo, in pozzo di emungimento.

6.4.1 Trincea di protezione esterna

La trincea di protezione esterna, il cui progetto è stato autorizzato nel 1987, è costituita da un diaframma impermeabile profondo circa 3-4 mt, posizionato alla base della scarpata del terrazzo alluvionale pleistocenico (fig. 15).

L'opera, è stata progettata e realizzata con le seguenti finalità:

- formare una barriera impermeabile atta a captare le acque affioranti della falda freatica dal piede del terrazzo;
- consolidare la scarpata, mediante formazione di una viminata costituita da alberi di vario genere, che radicando, consentono la formazione di una vegetazione del tutto spontanea;
- creare un perfetto drenaggio delle acque di risorgiva;
- recuperare la zona ai piedi del terrazzo, con la messa a dimora di essenze arboree ed arbustacee tipiche della zona.

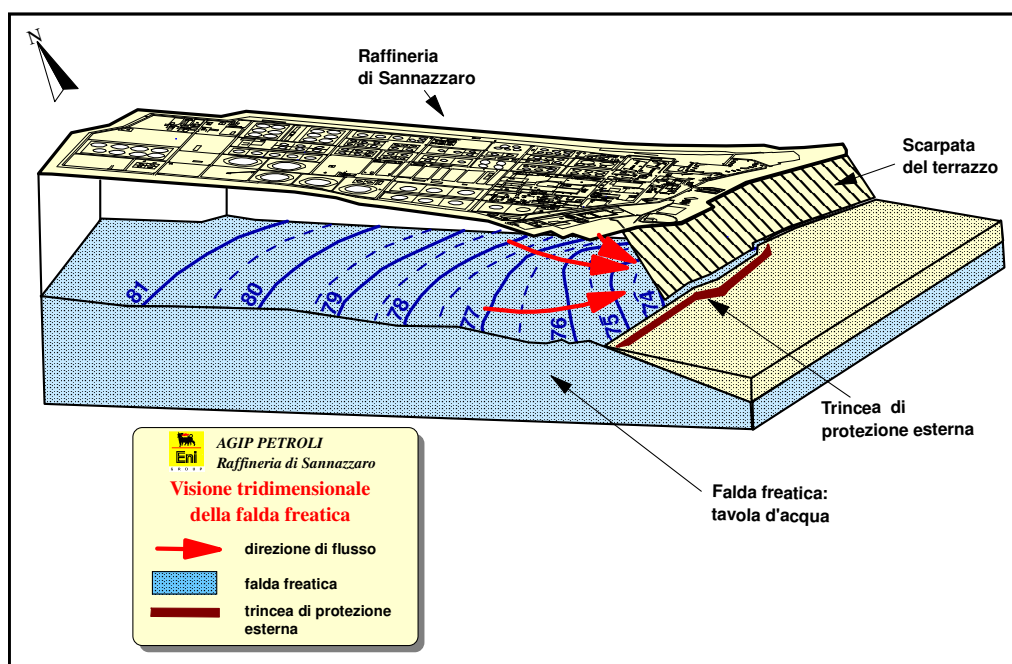


Fig. 15: Trincea di protezione esterna

Il manufatto, lungo circa 600 mt, è costituito da una paratia che ha la funzione di trattenere le acque di risorgiva, e da una serie di tubazioni di drenaggio, che hanno la funzione di convogliare l'acqua ad un pozzetto.

Nel pozzetto è installata una pompa che mantiene il livello dell'acqua ad una quota leggermente inferiore rispetto alla falda freatica attigua.

In tal modo, le acque emergenti sono intercettate ed inviate all'interno dello stabilimento (Fig. 16).

L'opera costituisce una barriera insuperabile ad eventuali residui di contaminazione che nel passato possono aver accidentalmente superato i sistemi di protezione installati all'interno dello stabilimento.

Trincea di protezione esterna

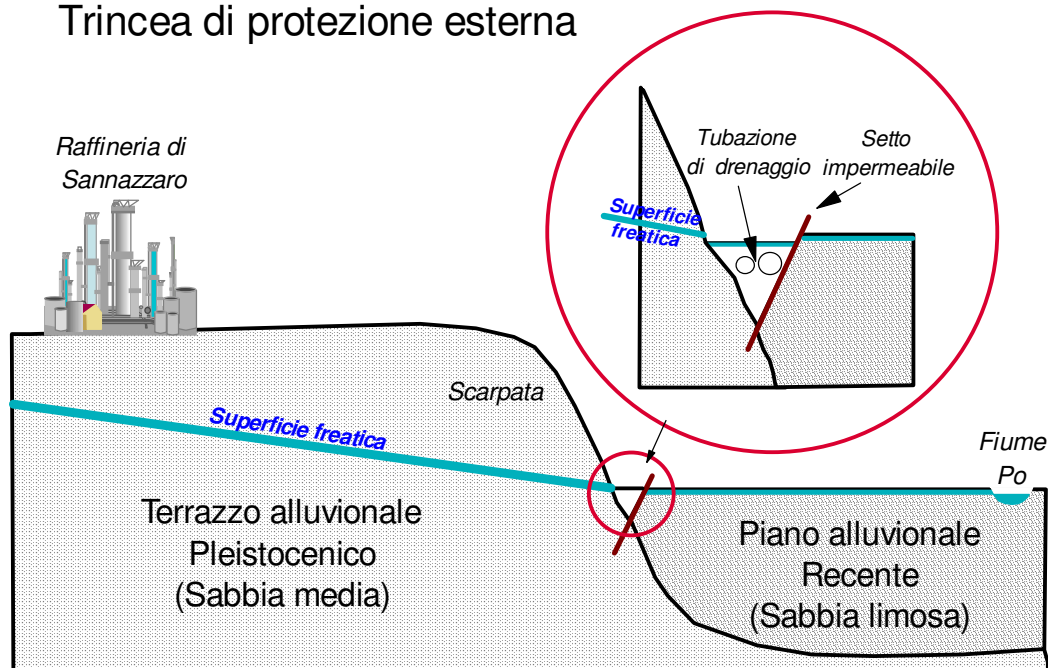


Fig. 16 Particolare della trincea di protezione esterna

7 PIANO DI INDAGINE

7.1 Indagini

Il piano di indagini effettuato nel 2000, integrato con i risultati di una recente campagna di monitoraggio delle acque di falda, ha permesso di comparare i valori attuali, con i valori di concentrazione limite previsti dalla normativa vigente.

Le indagini sono consistite nella:

realizzazione di sondaggi a carotaggio continuo;

caratterizzazione chimica di campioni di terreno estratti dalle carote a diverse profondità, da ciascuno dei sondaggi eseguiti;

caratterizzazione chimica dei campioni di acque sotterranee prelevati da piezometri, già esistenti sul sito, attestati nel primo e secondo acquifero.

7.2 Parametri indagati

Sulla base delle attività produttive attuali e passate, ed in funzione di quanto prescritto dalla normativa vigente (D.M. 471/99), sono stati ricercati su suoli e/o acque i seguenti composti:

- benzene
- toluene
- xileni
- etilbenzene
- n-esano
- Idrocarburi leggeri C<12
- Idrocarburi pesanti C>12
- Cadmio
- Piombo
- Policiclici aromatici

Le sostanze sono state scelte, oltre che per la loro rappresentatività, anche per le caratteristiche di pericolosità intrinseca; Il benzene e i policiclici aromatici sono infatti classificati R 45 dalla Direttiva europea 6/548/Cee.

7.3 Indagini sui suoli

L'area interessata dalle indagini ha compreso tutto l'insediamento industriale (circa 200 ettari) nonché la fascia esterna ad est dello stabilimento, sino ai margini della zona ad uso agricolo al di sotto della scarpata morfologica che separa il livello fondamentale della pianura dalla valle del fiume Po.

7.3.1 Magliatura

L'ubicazione dei sondaggi è stata effettuata mediante una maglia quadrata lato di circa 130 metri, che ha portato alla suddivisione dell'area da investigare in n. 78 settori numerati in ordine progressivo.

Alcuni dei settori hanno interessato porzioni di terreno che, sebbene esterni allo stabilimento, sono stati comunque analizzati, perché ritenuti comunque vulnerabili da possibili fenomeni di inquinamento pregresso.

L'area interessata dai settori esterni è posta sul fronte della raffineria, in corrispondenza della scarpata del terrazzo alluvionale.

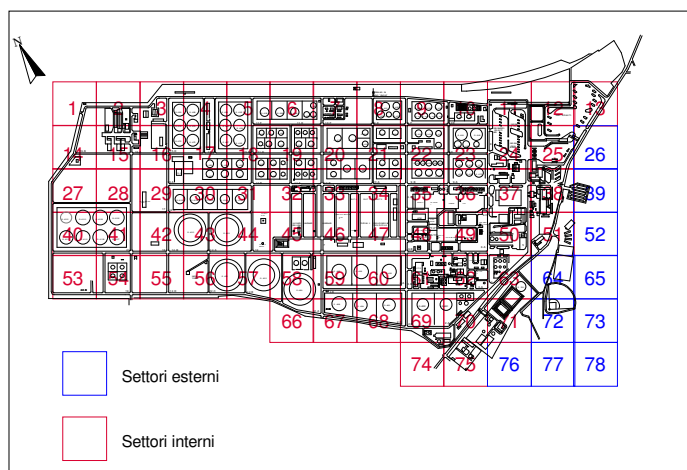


Fig. 17 Suddivisione dell'area in settori.

Stante la diffusa presenza di strutture fuori terra di dimensioni considerevoli (serbatoi, impianti) ed interrate (oleodotti, fognature, cavi elettrici, ...), non è stato possibile rispettare rigorosamente le disposizioni del D.M. 471/99 riguardo alle dimensioni della maglia.

Laddove possibile il sondaggio è stato eseguito al centro del quadrato della maglia; tuttavia nella maggior parte dei casi l'ubicazione puntuale di ciascun sondaggio è stata decisa sulla base della possibilità di accesso dei macchinari e di non interferenza con le suddette strutture.

7.3.2 Denominazione e numero dei sondaggi

Ciascun sondaggio è stato denominato con la sigla "S" seguita dal numero progressivo di esecuzione della perforazione, indipendentemente dal settore della magliatura in cui esso fosse ubicato; stante la suddivisione in settori di cui al punto precedente, è risultato un numero totale di n. 78 sondaggi realizzati.

Il sondaggio corrispondente al settore 48 non è stato realizzato causa interferenza con i sottoservizi; è stato invece eseguito, al di fuori della suddetta magliatura, un sondaggio ("bianco") distante circa 1 km dalla Raffineria per verificare il fondo naturale nel territorio delle concentrazioni relative ai parametri ricercati.

7.3.3 Modalità di scavo

I sondaggi, in accordo con le prescrizioni del D.M. 471/99, sono stati realizzati a carotaggio continuo a rotazione a secco, con raccolta e conservazione delle carote di terreno estratte.

E' stato utilizzato un carotiere semplice diam.130 mm con camicia di rivestimento a seguire diam. 152 mm.

Nelle operazioni di sondaggio la velocità di rotazione dell'utensile di perforazione ed i carichi di spinta sullo stesso sono stati controllati allo scopo di evitare eventuali riscaldamenti del terreno carotato, in particolare durante la manovra di incuneamento, al fine di evitare la volatilizzazione di sostanze bassobollenti eventualmente presenti.

Nelle operazioni di perforazione non sono mai stati utilizzati né fanghi a base bentonitica né additivi a base di polisaccaridi o di polimeri.

Al termine di ciascuna perforazione, il carotiere e la camicia di rivestimento sono stati accuratamente lavati con acqua in pressione.

7.3.4 Profondità dei sondaggi

Si è reputato di indagare lo stato del terreno su tutto l'orizzonte insaturo, considerato al momento della massima soggiacenza stagionale di falda, che è coincisa col periodo nel quale sono state intraprese le terebrazioni.

Dal momento che la soggiacenza della falda varia, oltre che stagionalmente, anche arealmente a seconda della porzione dello stabilimento considerata, la profondità delle terebrazioni è variata in funzione dell'ubicazione dei sondaggi, passando da un minimo di 2 m (area esterna alla raffineria a valle della scarpata morfologica, dove la tavola d'acqua è sempre prossima al piano campagna) sino ad un massimo di 16 m da p.c. (area esterna alla raffineria immediatamente a monte della scarpata morfologica).

Complessivamente sono stati effettuati circa **760 m** di perforazione.

7.3.5 Prelievo dei campioni

Nel corso del sondaggio sono state man mano raccolte e conservate, in apposite cassette catalogatrici in legno a scomparti, le carote di terreno rappresentative della stratigrafia.

Per ciascun sondaggio sono stati prelevati e sottoposti ad analisi da 1 sino a 5 campioni, in funzione della profondità del sondaggio, per un totale di n. 264 campioni .

Il campionamento del terreno è avvenuto in modo da evitare perdite delle frazioni leggere.

I campioni sottoposti ad analisi sono stati prelevati in ciascun sondaggio generalmente alle profondità di 1, 4, 7, 10 e 13 m da p.c.

7.3.6 Conservazione dei campioni

Il campione prelevato è stato immediatamente trasferito in contenitori in vetro a collo largo da 0,5 l munito di tappo a tenuta ermetica, sigillato, conservato a basse temperature (4°C) per inibire un'eventuale azione batterica ed analizzato nel più breve tempo possibile.

7.3.7 Stratigrafie

Per ogni singolo sondaggio è stata compilata una scheda stratigrafica, sulla quale sono stati riportati i livelli litologici ed il loro posizionamento, e la caratterizzazione dei materiali attraversati anche per quanto riguarda l'eventuale evidenza di contaminazione (colore, odore, impregnazioni).

7.3.8 Chiusura mineraria dei sondaggi

Al fine di impedire la percolazione verso la falda di inquinanti eventualmente presenti nella porzione superficiale del terreno, a conclusione delle operazioni di perforazione e campionamento è stata realizzata la chiusura mineraria di tutti i sondaggi.

La chiusura mineraria è stata effettuata in due fasi successive:

a) da fondo foro sino a 2 metri da p.c., il perforo è stato riempito con materiale alluvionale;

b) da 2 metri da p.c. sino a p.c. il perforo è stato cementato utilizzando una miscela, alimentata nel perforo a partire dal fondo mediante apposito tubo di iniezione, costituita da cemento pozzolanico 325, bentonite in polvere ed acqua.

7.4 Indagini sulle acque

La situazione delle acque, così come risultante dalle indagini effettuate, è illustrata integralmente in specifiche tabelle, ove sono riportati i risultati di tutte le indagini analitiche effettuate e suddivise per la specificità dei punti di prelievo.

7.4.1 Punti di controllo

I punti di prelievo sono stati raggruppati e codificati in funzione della loro posizione, rappresentatività e specificità:

Piezometri di controllo della falda freatica sottostante il parco serbatoi e gli impianti produttivi (PZ 1-23); sono costituiti da 30 piezometri, realizzati tra il 1983 ed il 1998, le cui caratteristiche sono indicate in allegato n° 2.

Pozzi delle barriere di protezione interna (S 4-15, S18, S21-39); sono costituiti da 32 pozzi realizzati tra il 1982 ed il 1998.

Le caratteristiche dei pozzi sono indicate in allegato n° 3.

Piezometri dell'anello di monitoraggio interno della falda freatica (PS 1-6); i piezometri, 6 in totale, costituiscono l'anello di monitoraggio della falda freatica a perimetro dello stabilimento; essi sono posizionati a valle degli impianti produttivi, nella direzione di flusso della falda freatica stessa.

Le caratteristiche sono indicate in allegato n° 4

La posizione dei suddetti punti è indicata nella seguente planimetria:

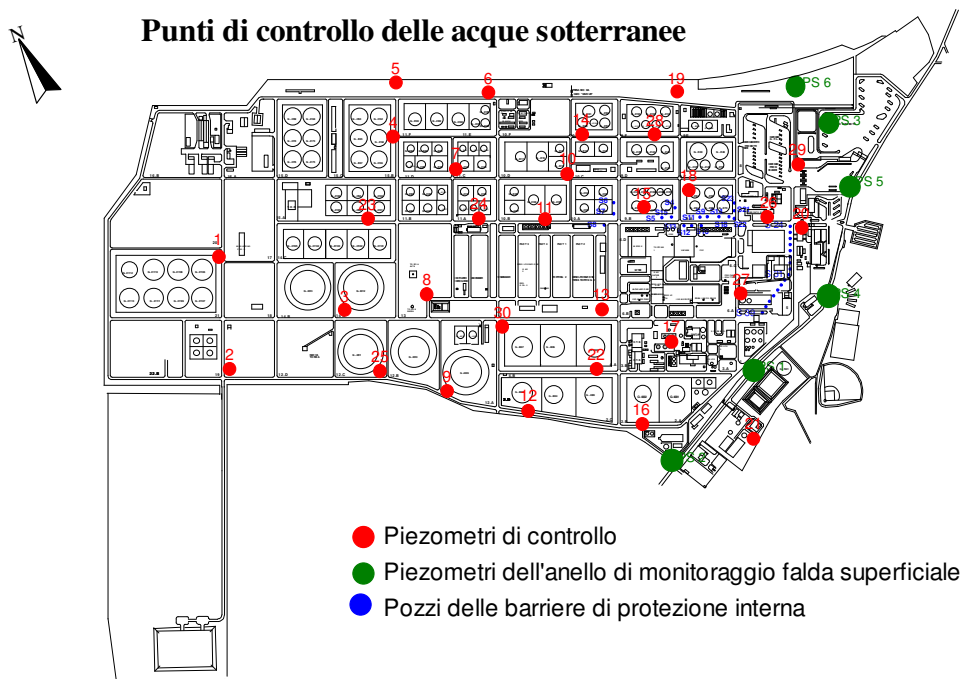


Fig. 18 Punti di controllo della falda freatica sottostante lo stabilimento

Piezometri dell'anello di monitoraggio della falda artesiana interna;

Sono costituiti da 8 piezometri interni lo stabilimento (PA10-PA17), impiegati per il controllo della falda artesiana.

Piezometri dell'anello di monitoraggio della falda freatica esterna; sono costituiti da 11 piezometri esterni (PA 1-6, 8-9, 18-20) impiegati per il monitoraggio della falda freatica.

I piezometri, recentemente integrati da ulteriori punti di prelievo (PA18-20), costituiscono i punti di controllo predisposti a fronte di quanto convenuto in sede di Commissione di Salvaguardia Ambientale.

Gli anelli di monitoraggio consentono alla raffineria di controllare la falda sottostante e circostante lo stabilimento attraverso verifiche periodiche effettuate più volte all'anno.

A partire dal 1987 gli anelli di monitoraggio interno ed esterno, sono stati controllati regolarmente con frequenza quadrimestrale anche dai tecnici della Commissione Comunale.

La posizione dei punti di controllo interni ed esterni è indicata nella seguente mappa tematica :

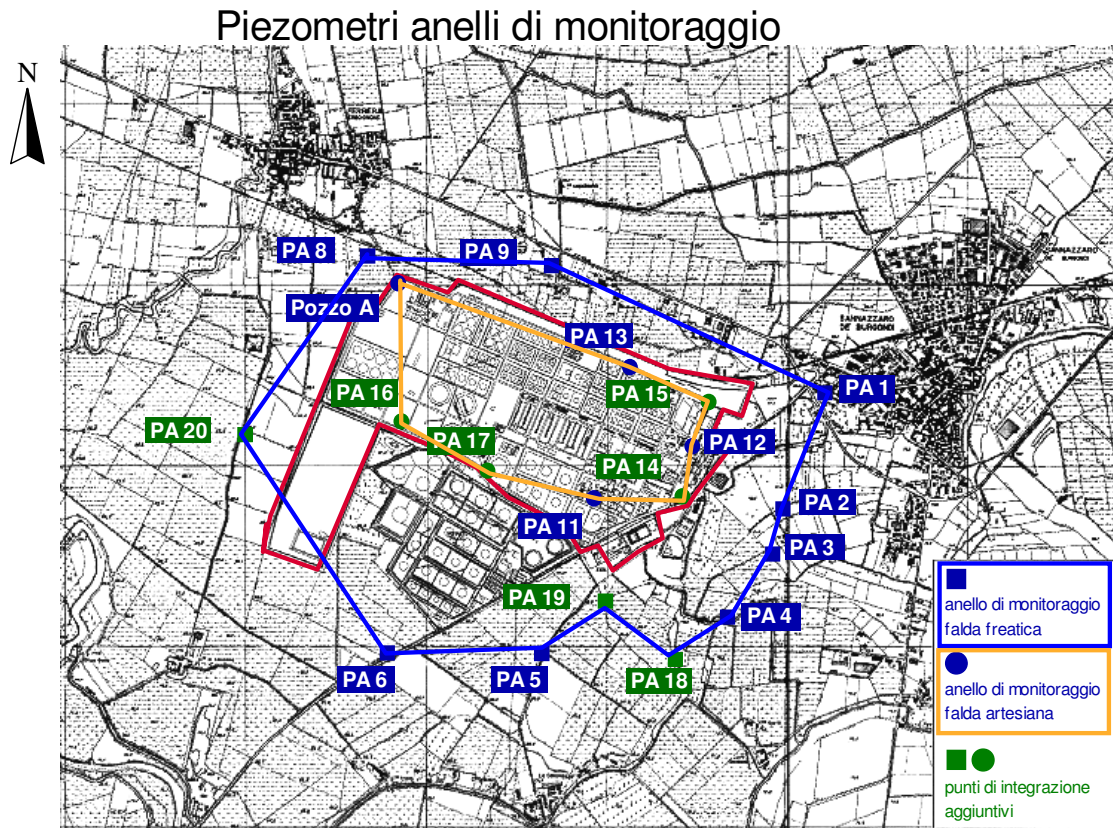


Fig. 19 Ubicazione degli piezometri di monitoraggio della falda freatica ed artesiiana.

7.5 Metodologie di campionamento

Per i terreni sono state utilizzate le metodiche ufficiali dei Quaderni IRSA-CNR 64-25, mentre per le acque le metodiche ufficiali IRSA-CNR 1030;

Per i piezometri ogni campionamento è stato preceduto da uno spurgo della durata di circa 3-4 ore.

7.6 Metodologie di analisi

7.6.1 Terreni

Sono stati utilizzati gli esistenti metodi ufficiali per i seguenti parametri:

Metalli pesanti totali: Quaderno IRSA-CNR 64-10

Cadmio: Metodi analitici per le acque IRSA 3060 (metodo per spettrofotometria di Assorbimento Atomico);

Piombo: Metodi analitici per le acque IRSA 3150 (metodo per spettrofotometria di Assorbimento Atomico);

Per i restanti parametri, stante l'assenza al momento di metodiche ufficiali sono stati utilizzati i seguenti metodi interni, tali comunque da garantire i limiti di sensibilità analitica previsti dal D.M. 471/99:

- determinazione degli idrocarburi alifatici frazione C5-C12 (GRO) (metodo GC-FID EPA n° 8015B);
- determinazione degli idrocarburi alifatici frazione >C12 (DRO) (metodo GC-FID ISO TR 11046 ed EPA n° 8015B);
- determinazione degli idrocarburi aromatici (metodo GC-MS EPA n° 8260A);
- determinazione degli idrocarburi policiclici aromatici (metodo GC-MS EPA n° 8270C);
- determinazione degli idrocarburi totali (TPH-FTIR) (metodo spettrofotometrico FT-IR ISO TR 11046);
- determinazione dei metalli (metodo ICP-AES EPA n° 6010B);

7.6.2 Acque

Per le analisi delle acque, sono stati utilizzati i seguenti metodi EPA e IRSA:

- determinazione degli idrocarburi alifatici nelle acque (metodo GC-FID EPA n° 8015B);
- determinazione degli idrocarburi aromatici nelle acque (metodo GC-MS EPA n° 8260A);
- determinazione degli idrocarburi policiclici aromatici (metodo GC-MS EPA n° 8270C);
- determinazione dei metalli (metodo ICP-AES EPA n° 6010B).

8. RISULTATI DELLE INDAGINI

8.1 Evidenze stratigrafiche

Dall'esame dei carotaggi relativi alle indagini effettuate sui terreni, il sottosuolo dell'area in esame risulta caratterizzato, come peraltro già noto sulla base di numerosi dati stratigrafici pregressi relativi al territorio in esame, da sabbie per lo più limose a granulometria da fine a media, più raramente medio-grossolana o grossolana, e da orizzonti limosi.

Le ghiaie sono praticamente assenti o al più inglobate talora nelle suddette tipologie più fini.

Nel corso delle operazioni di perforazione e campionamento in alcuni sondaggi è stata rinvenuta evidenza visiva o olfattiva di contaminazione da idrocarburi, per lo più negli orizzonti più profondi.

8.2 Inquinamento dei suoli.

La situazione dell'inquinamento dei suoli, così come risultante dalle indagini effettuate, è illustrata integralmente nella tabella n° 1a, ove sono riportati i risultati di tutte le indagini analitiche effettuate sui campioni di terreno esterni allo stabilimento.

La tabella 1b, illustra i risultati delle indagini effettuate sui suoli e sottosuoli interni.

Sui n. 264 campioni analizzati, in soli n. 6 settori interni lo stabilimento, sono stati osservati dei superamenti dei limiti del D.M. 471 (Tabella 1B dell'Allegato 1, "Siti ad uso commerciale ed industriale").

I superamenti hanno riguardato i parametri benzene, toluene, xileni, idrocarburi leggeri e quelli pesanti, mentre i policiclici aromatici (risultati sempre inferiori al limite di sensibilità strumentale) ed i metalli (Cd e Pb) non rappresentano motivo di contaminazione.

In nessun caso i superamenti dei limiti hanno riguardato i suoli superficiali (intervallo 0÷1 m da p.c.); in accordo con le evidenze emerse in fase di perforazione, la contaminazione è risultata riguardare essenzialmente le porzioni più profonde (7÷13 m da p.c.) dell'orizzonte investigato.

Quest'ultimo, insaturo al momento delle perforazioni, è comunque interessato dalle oscillazioni stagionali della tavola d'acqua.

Il fenomeno interessa una porzione di stabilimento arealmente ben definita, in corrispondenza di aree interessate dal parco serbatoi e dalle strutture impiantistiche..

Non sono state pertanto reputate necessarie ulteriori indagini geognostiche per la delimitazione della zona interessata.

Lo stato dei terreni è evidenziato mediante elaborazione di alcune mappe tematiche riassuntive, con riferimento al supero dei limiti del D.M. 471 (Tabella 1B dell'Allegato 1) per i parametri più significativi.

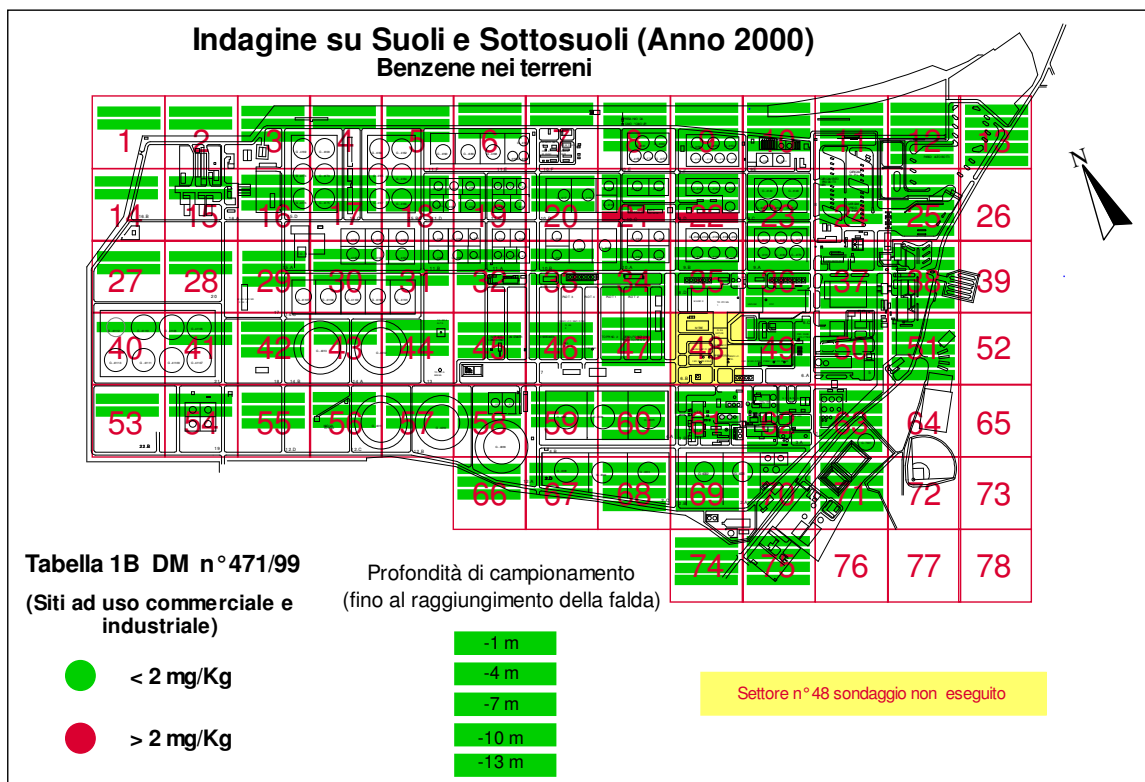


Fig. 20 Mappa del suolo in relazione al benzene per i terreni ad uso industriale

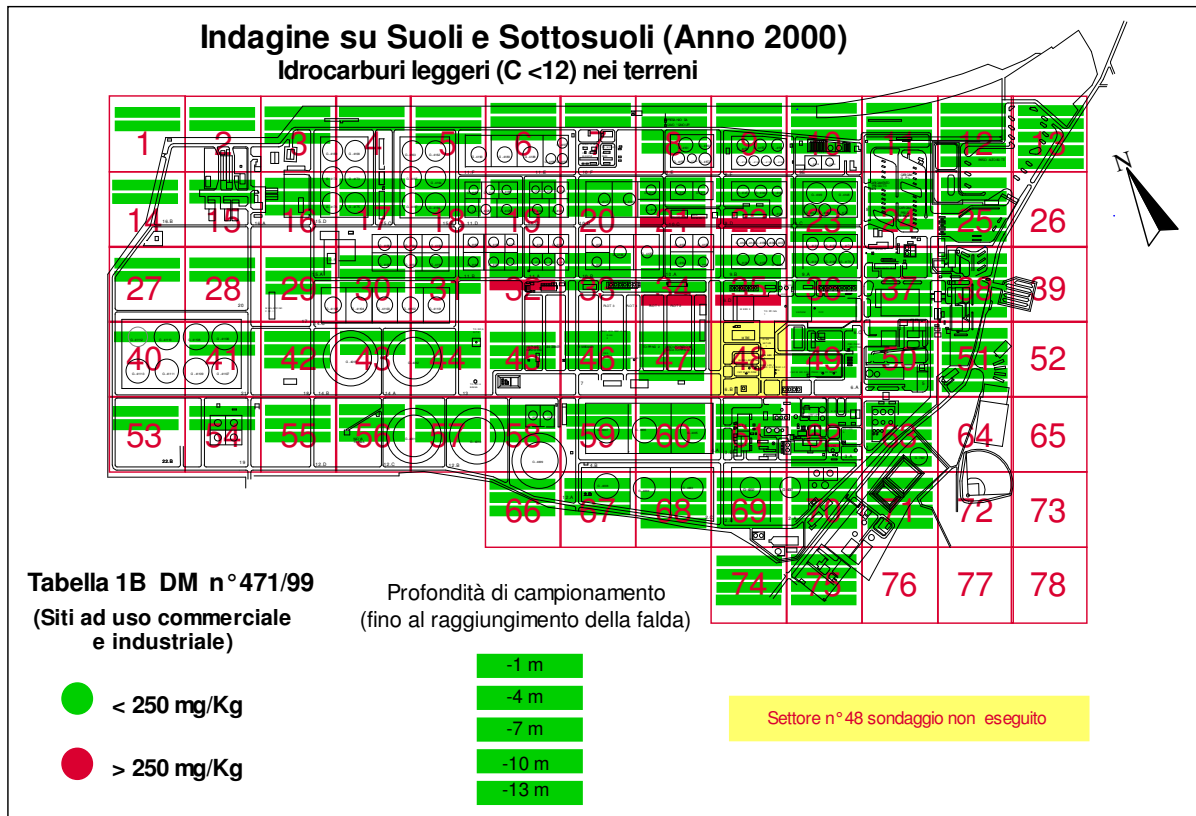


Fig. 21 Mappa del suolo in relazione agli idrocarburi leggeri per i terreni ad uso industriale

Analogamente, sono state prodotte mappe tematiche relative ai risultati delle analisi effettuate per i terreni esterni lo stabilimento, con riferimento al D.M. 471 (Tabella 1A dell'Allegato 1, "Siti ad uso verde pubblico....").

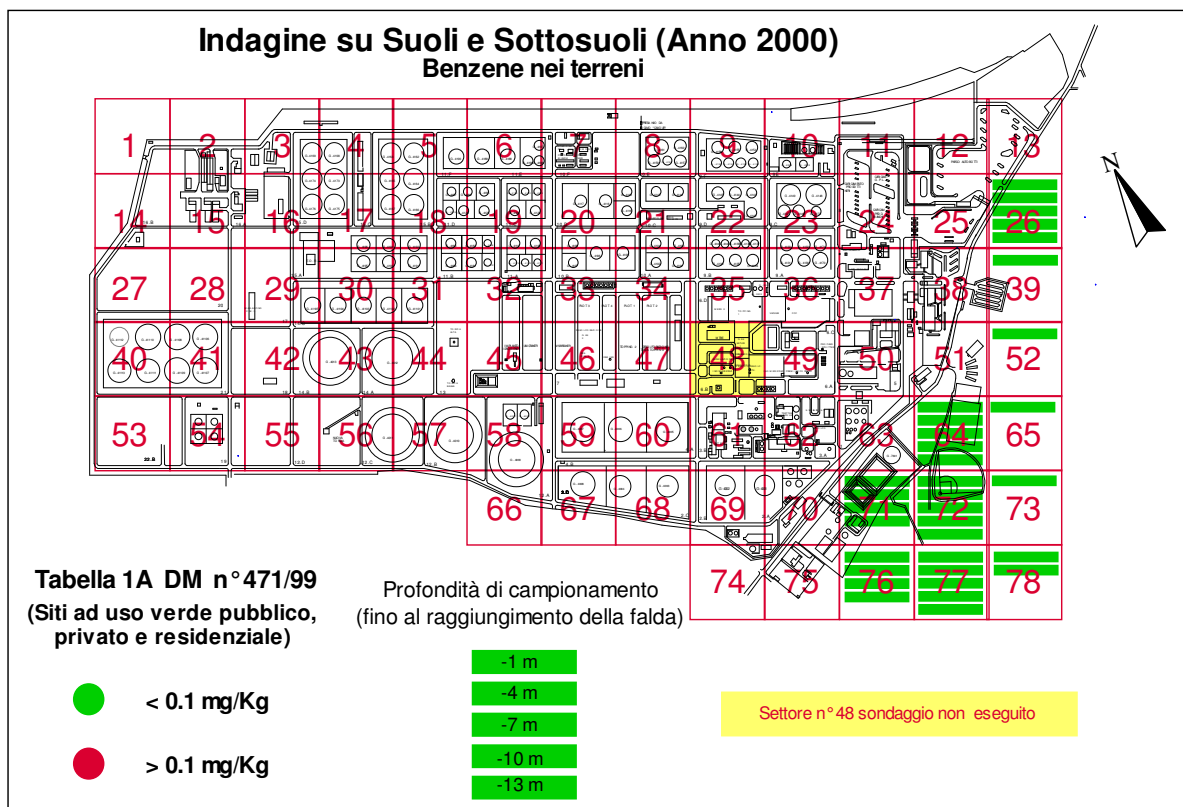


Fig. 22 Mappa del suolo in relazione al benzene per i terreni ad uso verde pubblico e privato

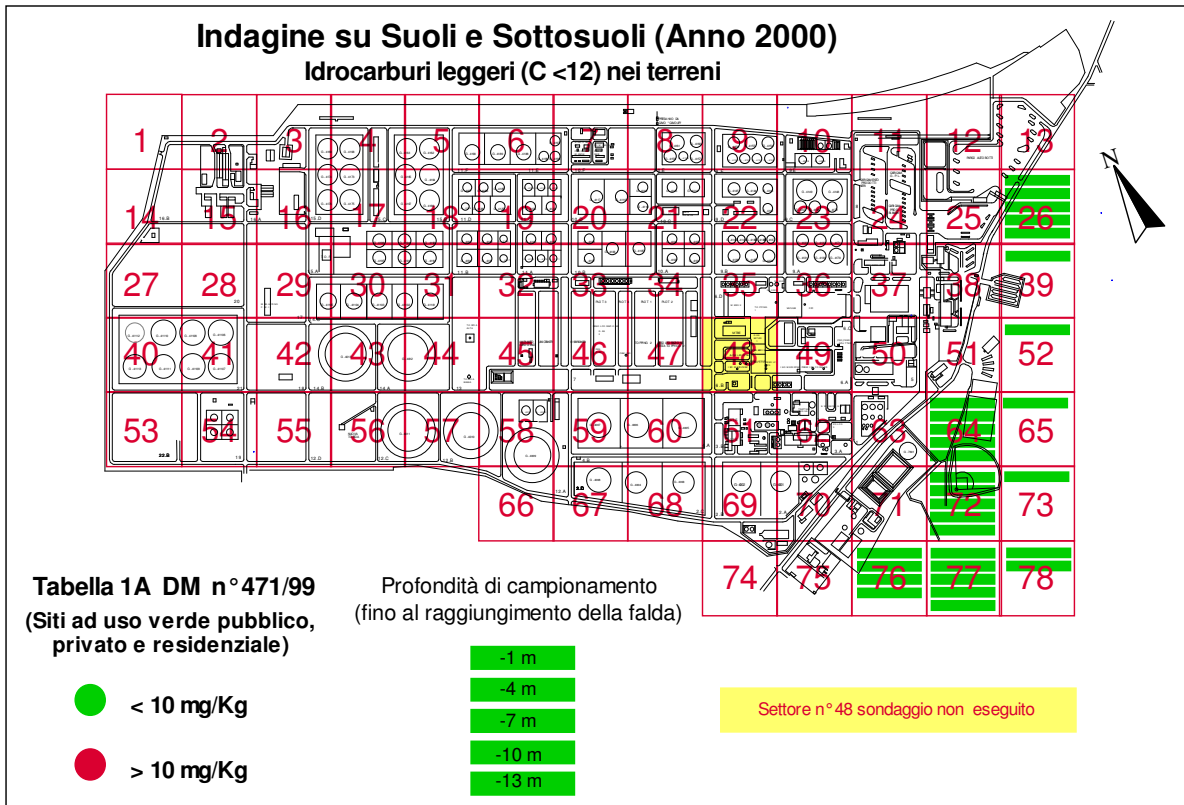


Fig. 23 Mappa del suolo in relazione agli idrocarburi leggeri per i terreni ad uso verde pubblico privato e residenziale

8.3 Indagini sulle acque.

8.3.1 Situazione pregressa

Lo stato pregresso della falda freatica (rilevato mediante spettrofotometria IR), rilevato nella campagna di analisi del 1986, è riportato in tabella n° 2.

La distribuzione dei dati rilevati al 1986 è sinteticamente illustrata nella seguente mappa delle concentrazioni degli oli minerali.

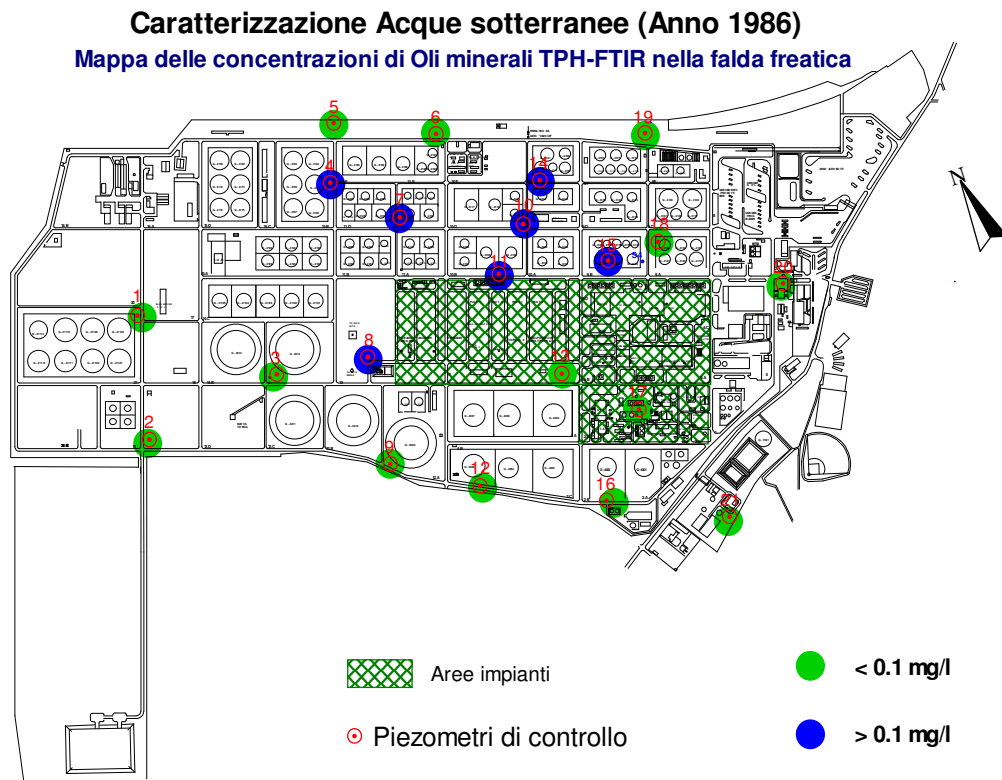


Fig. 24: Caratterizzazione delle acque sotterranee relative all'anno 1986

La presenza di idrocarburi, localizzati in massima parte all'interno del parco serbatoi, è stata rilevata sia in libero galleggiamento che in fase soluta.

L'attivazione delle prime due barriere di protezione ha permesso di eliminare totalmente la fase in libero galleggiamento.

L'attivazione della terza barriera ha permesso di contenere le tracce nelle acque di falda.

8.3.2 Falda artesianiana

I controlli effettuati sugli 8 piezometri (PA10-PA17) dell'anello di monitoraggio della falda profonda sottostante lo stabilimento, ha dimostrato che l'acquifero artesianiano è del tutto immune da tracce di idrocarburi; i risultati sono riportati nella tabella n° 3a.

8.3.3 Falda freatica esterna

Sul totale degli 11 piezometri (denominati PA1-6,8,9 PA18-20) dell'anello di monitoraggio della falda superficiale esterna, non sono stati osservati superamenti dei valori di concentrazione limite accettabili nelle acque sotterranee (all. 1 D.M. 471); I risultati sono riportati nella tabella n° 3b.

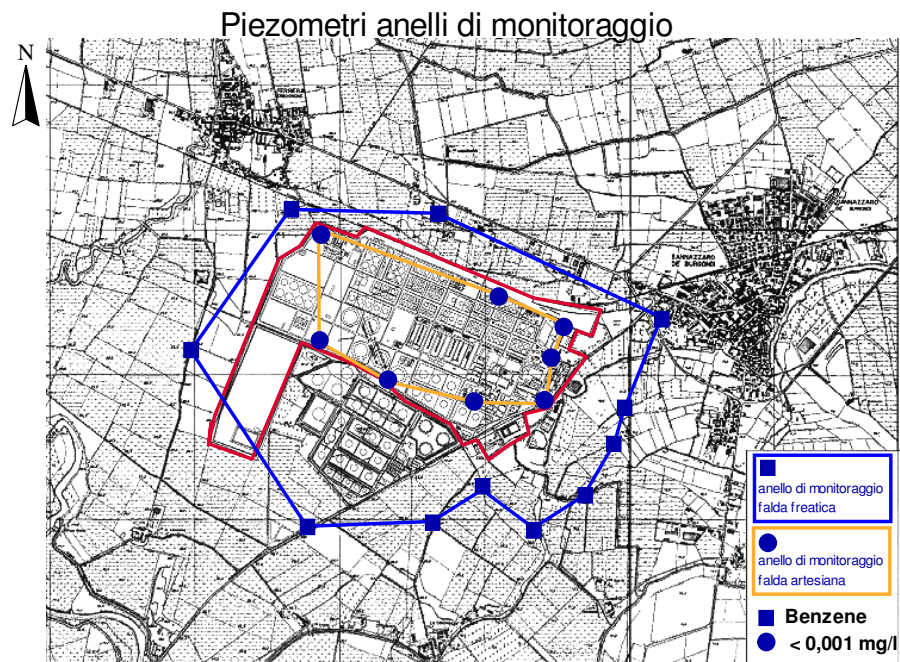


Figura 25: Concentrazione di benzene negli anelli di monitoraggio interno ed esterno.

8.3.4 Anello di monitoraggio perimetrale.

L'ultima campagna di analisi chimiche sulle acque prelevate dai piezometri utilizzati per il controllo della falda superficiale, al perimetro dello stabilimento (denominati Ps), hanno evidenziato l'assenza di idrocarburi (fig. 26); i risultati sono riportati in tabella n° 4.

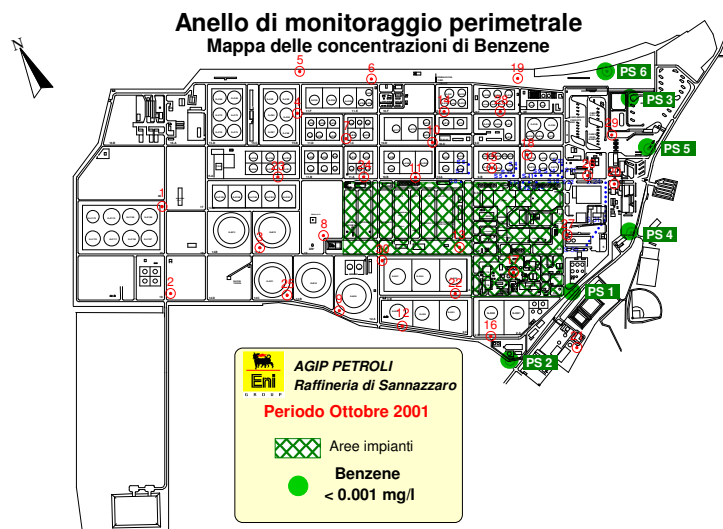


Fig. 26: Concentrazioni di benzene nell'anello di monitoraggio perimetrale

8.3.5 Falda freatica interna.

Lo stato dell'acquifero interno è stato monitorato tramite la rete di piezometri spia (denominati Pz), distribuiti su tutta l'area dello stabilimento.

Le analisi effettuate sui campioni di acqua dei 23 punti di controllo confermano il quadro globale; i fenomeni sono principalmente localizzati nell'area del parco serbatoi ed in corrispondenza delle barriere di protezione interna.

L'ubicazione dei piezometri eccedenti i limiti fissati dalla recente normativa, per il parametro benzene è illustrata nella Figura 26 ; a grandi linee è rispecchiata la distribuzione evidenziata dalla contaminazione dei suoli.

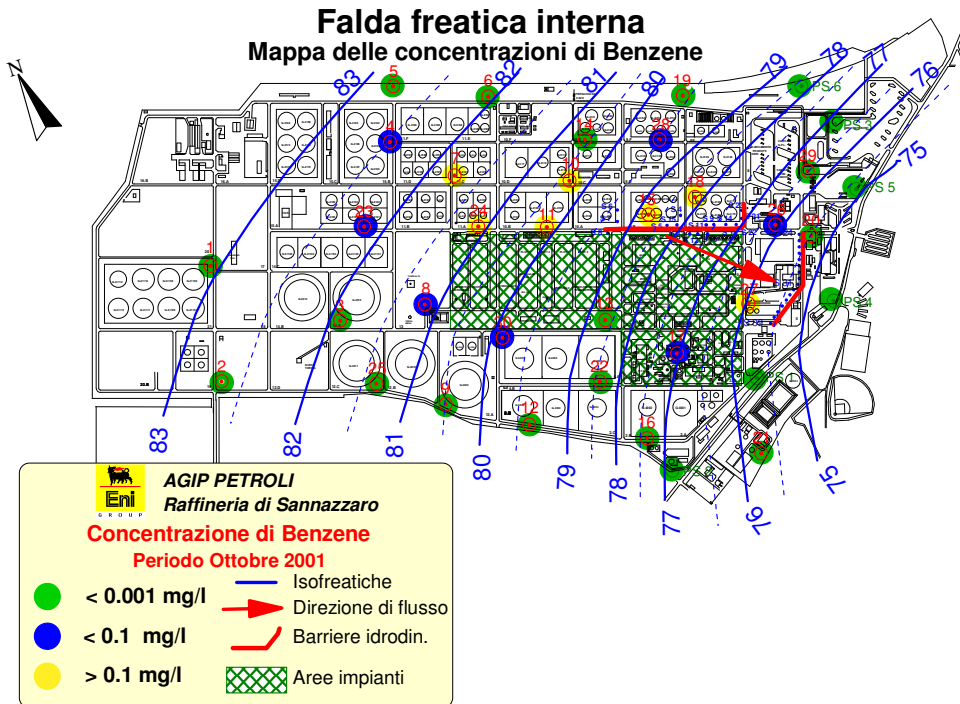


Fig. 27 Mappa di concentrazione del benzene nelle acque sotterranee

I superamenti hanno riguardato unicamente gli idrocarburi aromatici, sostanze maggiormente solubili in acqua.

I policiclici aromatici, il Piombo ed il Cadmio non rappresentano motivo di contaminazione nella falda freatica sottostante il sito (in accordo con quanto emerso dalle analisi dei suoli).

I risultati sono riportati nella tabella n° 5.

I valori più elevati sono stati rilevati in corrispondenza delle aree isole 9, 10 e 11, dove storicamente è stata riscontrata l'origine del fenomeno.

La contaminazione dei piezometri 8, 17, 23 e 30, anche se leggermente superiore ai limiti tabellari, è da considerarsi riferita a microperdite del circuito fognario, sanate dalle opere di impermeabilizzazione a suo tempo eseguite.

8.3.6 Pozzi delle barriere di protezione.

La qualità delle acque emunte dai pozzi delle barriere di protezione (tabella n° 6), denota la corretta disposizione degli sbarramenti idrodinamici, anche se in genere, i valori rilevati dai sistemi di sbarramento sovrastimano lo stato di inquinamento dell'acquifero.

9. Conclusioni.

Le indagini hanno evidenziato in generale una bassa contaminazione da idrocarburi, in progressiva riduzione, localizzata prevalentemente in una porzione di terreno sottostante le aree interessate dagli impianti di Raffineria, e l'assenza di problematiche legate a metalli e policiclici aromatici.

In particolare, per quanto riguarda i suoli, solo 6 campioni su 264, prelevati a profondità di 7÷13 m da p.c., risultano eccedenti rispetto ai limiti normativi, mentre per quanto riguarda le acque sotterranee la contaminazione si manifesta essenzialmente in corrispondenza delle barriere di protezione interna.

La situazione attuale della raffineria ed i bassi valori riscontrati, a seguito delle indagini sul suolo e sulle acque, evidenzia una assenza di rischi sanitari per i lavoratori operanti all'interno dello stabilimento.

Ciò è confermato dalle numerose indagini ambientali e sanitarie che hanno sempre rilevato assenza di esposizione da agenti di rischio chimico a carico dei lavoratori della Raffineria.

In conclusione, per quanto sopra illustrato ne deriva che:

- a) la raffineria, grazie agli interventi effettuati, è in sicurezza, non evidenziandosi alcun rilascio all'esterno dello stabilimento;
- b) non esistono rischi per i lavoratori e di conseguenza per il territorio circostante.