

# Indagine ambientale sulle acque sotterranee sottostanti lo stabilimento petrolchimico di Gela

**GISOTTI GIUSEPPE**  
GEOLOGO, SIGEA

**TURRIO BALDASSARRI**  
**LUIGI**  
CHIMICO, ISTITUTO SUPERIORE DI  
SANITÀ

## INTRODUZIONE

L'AGIP Petroli SpA nell'ottobre 1999 ha presentato al Ministero dell'Ambiente l'autodenuncia ai sensi dell'art. 17 del D. Lgs. 22/97 (Decreto Ronchi) a seguito della contaminazione accertata a carico delle acque di falda nella zona del Canale Priolo della Raffineria di Gela. Tale stabilimento successivamente è entrato a far parte dei "siti di interesse nazionale" soggetti a bonifica.

In tale ambito bisognava definire gli interventi di messa in sicurezza della falda acquifera sottostante la raffineria.

L'AGIP affidava ad una impresa specializzata l'incarico di effettuare le attività di caratterizzazione ambientale e geologico-tecnica previste nell'ambito dello studio per la revisione della barriera impermeabile della Raffineria.

In realtà già da tempo erano in atto, da parte dell'AGIP, interventi di bonifica dell'estesa area pianeggiante occupata fin dagli anni '70 da stabilimenti petrolchimici, che si estende lungo il mare subito a sud est della città di Gela.

Le analisi chimiche e fisiche effettuate in più tempi sulla qualità delle acque superficiali e sotterranee, delle acque marine, dei suoli e dei sedimenti dell'area industriale hanno messo in evidenza la presenza di oli minerali, costituiti da frazioni leggere assimilabili alle benzine, in concentrazioni superiori ai limiti fissati per legge.

Tali inquinanti provengono dalle perdite di tubazioni, serbatoi di stoccaggio (Fig. 1), ecc. che fanno parte del soprastante insediamento petrolchimico, dove i greggi di petrolio

vengono sottoposti a vari processi di raffinazione al fine di ottenere vari prodotti, quali gasolio, benzine, oli combustibili, nafta, solventi e altre sostanze.

Basti pensare che tali serbatoi di stoccaggio risalgono all'epoca della costruzione dello stabilimento, cioè agli anni '60.

I quantitativi di greggio e di derivati di prodotti petroliferi stoccati nell'area dello stabilimento sono considerevoli: la capacità totale di stoccaggio dei prodotti risulta pari a circa 1.200.000 metri cubi di idrocarburi.

Allo scopo di ridurre tali inquinamenti, sono stati realizzati nel tempo vari interventi tecnici passivi, che miravano da una parte al controllo e contenimento dello stato di contaminazione dell'acquifero, mediante varie tipologie di barriere fisiche, dall'altra a degradare gli inquinanti migrati nelle acque sotterranee.

La situazione di contaminazione delle varie componenti ambientali ha da una parte indotto l'AGIP a far eseguire da imprese e studi specializzati indagini mirate alla caratterizzazione ambientale dell'area industriale e dei

suoi dintorni, dall'altra la Procura della Repubblica presso il Tribunale di Gela ad intervenire con apposite indagini mirate a rendersi conto della effettiva situazione di degrado dell'area, sotto l'aspetto della pericolosità per la salute dei cittadini di Gela oltre che sotto quello della osservanza della normativa ambientale.

Nel maggio 2002 la Procura affidava agli scriventi, unitamente al dott. M. Floccia, l'incarico di indagare sulla qualità delle acque sotterranee presenti nell'area dello stabilimento petrolchimico AGIP Petroli SpA di Gela e nelle sue adiacenze e, nel caso fossero risultate contaminate, di indicarne la causa e le misure di risanamento e tutela da adottare. Il presente lavoro raccoglie le parti più significative della relazione tecnica stilata in quella occasione.

Le indagini dei consulenti di cui sopra, più altre indagini precedenti ed i risultati di perizie fatte eseguire nel 2000 dalla Magistratura sullo stato di inquinamento ambientale dell'area, sono serviti a fornire alcuni nuovi dati sul fenomeno dell'inquinamento ed a cercare di inquadrarlo in una visione unitaria.

Nel seguito si fa un quadro d'insieme dei problemi di inquinamento a carico delle acque sotterranee sottostanti lo stabilimento e dei rimedi in atto e previsti.

## **GEOLOGIA E IDROGEOLOGIA DEL TERRITORIO. LE INDAGINI IDROGEOLOGICHE**

### **ASPETTI GEOGRAFICI E AMBIENTALI DELL'AREA**

L'area in esame è situata sulla riva del mare ed è contigua all'abitato di



Figura 1 - Veduta parziale dello stabilimento petrolchimico di Gela, con alcuni serbatoi di stoccaggio.



Periodico  
trimestrale  
della  
Società  
Italiana di  
Geologia  
Ambientale  
Anno XIV  
n. 1/2006

Geologia  
dell'Ambiente

15

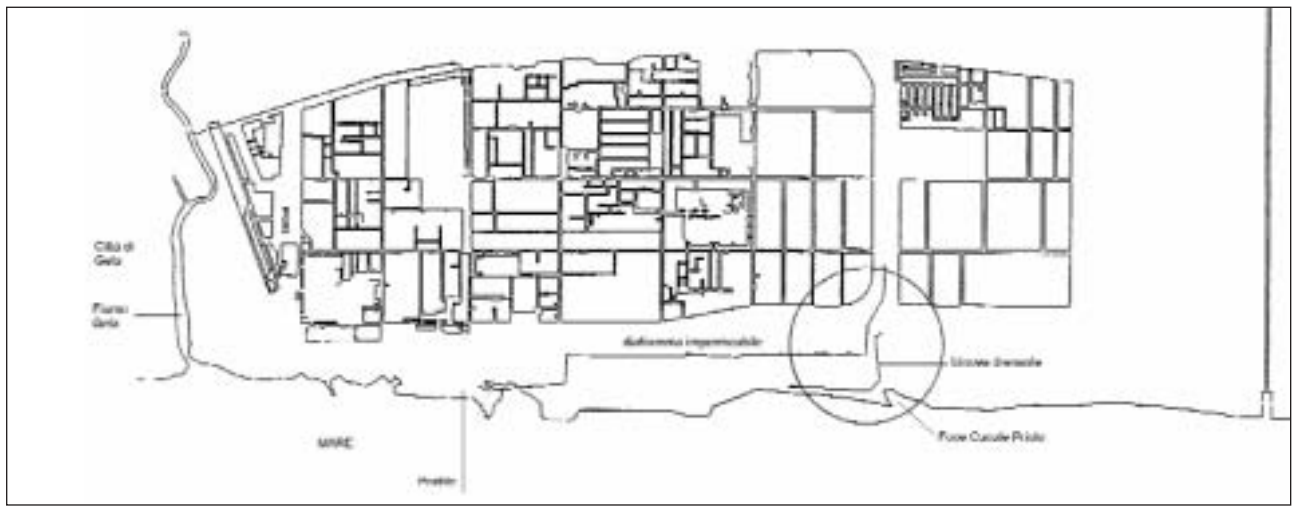


Fig. 2.- Planimetria generale dello stabilimento petrolchimico AGIP di Gela.

Gela, dal quale è separata dall'omonimo Fiume. Lo stabilimento è andato ad occupare la pianura costiera ("Piana di Gela") e, verso il mare, una antica fascia di dune litoranee (Fig. 2).

Il cordone di dune, ostacolando l'afflusso diretto al mare delle acque che solcano la pianura costiera, aveva dato origine a varie paludi, di cui oggi restano solo alcuni lembi residui. Le stesse dune furono demolite durante la realizzazione dello stabilimento, per cui oggi resta ben poco della primitiva morfologia ondulata, anche se si nota un'area rilevata che inizia a ridosso della breve spiaggia, raggiunge quote massime fino a circa 14 metri nella parte più interna dello stabilimento, per poi degradare fino a quote di circa 8 metri alle spalle dello stabilimento, dove inizia la pianura alluvionale attraversata dalla S. S. Occidentale Sicula (n. 115).

L'area era solcata da alcuni modesti torrenti che scaricavano a mare le acque di pioggia che si raccoglievano sulle colline retrostanti e sulla pianura. Durante la realizzazione dello stabilimento fu costruito un canale di drenaggio, il Canale Priolo, situato nella estremità sud-est dello stabilimento (Fig. 3). Questo canale è cementato per un primo tratto, dall'inizio fino circa a metà dell'area industriale.

È presente una falda freatica situata a qualche metro di profondità (soggiacenza media compresa tra 2 e 10 metri dal piano campagna), con quote assolute variabili tra 0,5 e 7,0 metri; essa è contenuta nelle sabbie della fascia dunare. Si tratta di sabbie sciolte o debolmente cementate, con lenti ed intercalazioni di argilla, limo e ghiaia. A profondità variabili da 15 a 35 metri dal piano campagna sono presenti argille grigio-azzurre plioceniche che costituiscono il setto impermeabile ("aquiclude") della citata falda acquifera (Figg. 4 e 5).

Tale falda, contenuta quindi in terreni a componente prevalentemente sabbiosa e caratterizzati da permeabilità

primaria (per porosità), è livellata ad una quota di poco superiore a quella del livello del mare ed ha un gradiente idraulico (pendenza piezometrica) intorno a 0,1 %, con coeffi-

ciente di permeabilità di circa  $2 \times 10^{-2}$  cm/s. La sua direzione di flusso principale è orientata da N a S ossia verso il mare, meno che nelle vicinanze del Canale Priolo, dove il livello del-

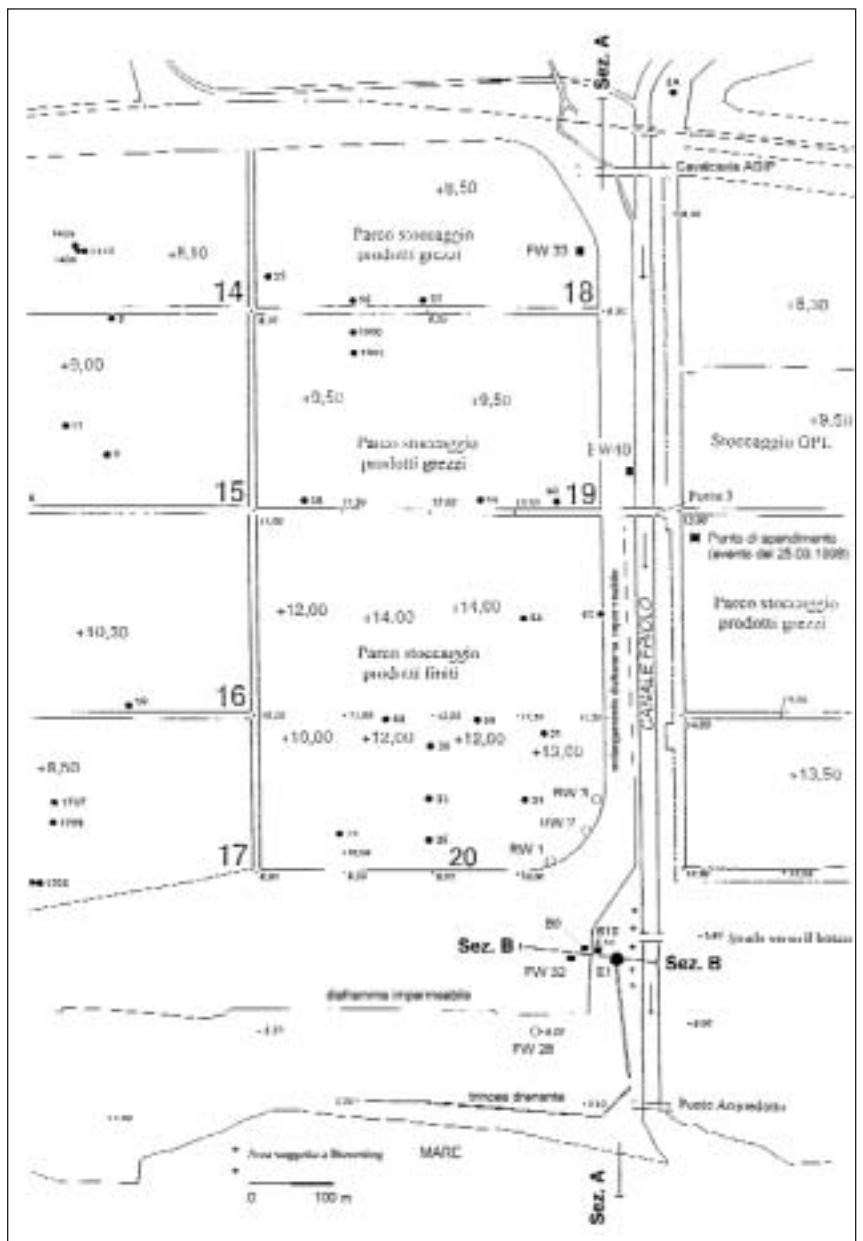


Fig. 3 - Planimetria dell'estremità SE dello stabilimento, in corrispondenza delle aree di stoccaggio dei prodotti grezzi e finiti. Vengono indicati l'ubicazione dei principali punti di campionamento, della trincea drenante, del diaframma impermeabile, della barriera idraulica (pozzi RW1, RW2, RW3, ecc.) e dell'area soggetta a Bioventing.

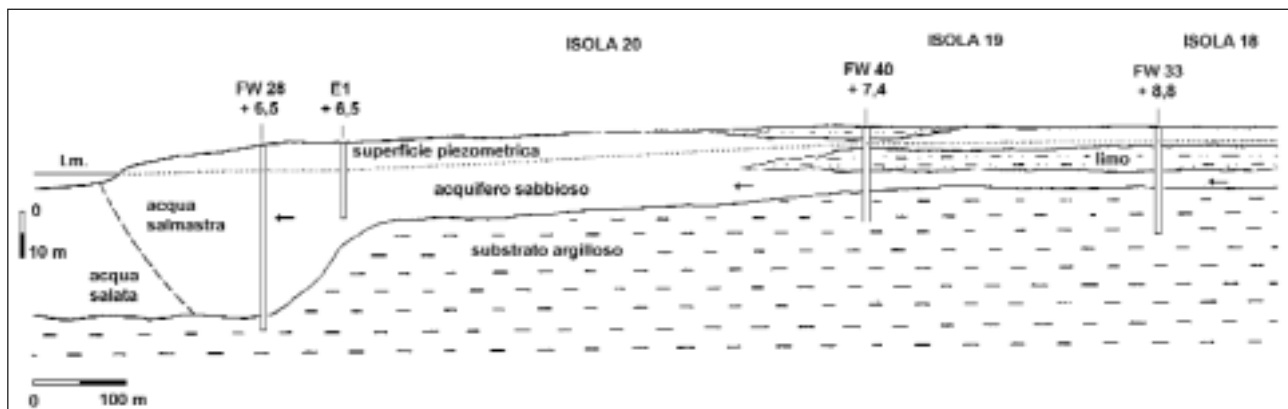


Fig. 4 - Sezione idrogeologica schematica parallela al Canale Priolo ( da NE a SO), con i pozzi di monitoraggio della qualità delle acque sotterranee ( Sez. A della planimetria di Fig.3).

la corrente, alquanto più basso rispetto al livello della falda al di là delle sponde, fa sì che le isopiezometriche divergano alquanto verso lo stesso Canale (Figg. 4 e 5).

Va da sé che gli aspetti idrogeologici sono importanti nel nostro caso, poiché la citata falda costituisce il ricettore degli eventuali fluidi inquinati sversati dallo stabilimento ed a sua volta la falda inquinata va a contaminare il mare che dista poche decine di metri dai punti di immissione.

#### L'INQUINAMENTO E GLI INTERVENTI DI MESSA IN SICUREZZA DI EMERGENZA

Come accennato in precedenza, lo stato di contaminazione delle acque ha indotto l'AGIP a realizzare vari interventi tecnici passivi, che miravano da una parte al controllo e contenimento dello stato di contaminazione dell'acquifero, mediante varie tipologie di barriere fisiche, dall'altra a degradare gli inquinanti migrati nelle acque sotterranee.

Nella figura 3 vengono mostrate le tre barriere esistenti e/o in fase di completamento nella Raffineria di Gela. Le tipologie di tali barriere sono essenzialmente le seguenti.

**A - Trincea drenante:** ha lo scopo di drenare la falda inquinata mediante uno scavo normale alle linee di flus-

so e più profondo della superficie di falda; si avvale anche di pozzi drenanti.

E' stata realizzata (anni '70) nel fondovalle del Canale Priolo in destra orografica dello stesso, in direzione parallela al canale, al di là della "Recinzione fiscale". Sono presenti pozzi con funzione drenante, fra cui il pozzo E1 (Figg. 4, 5 e 6).

**B - Diaframma impermeabile o di contenimento (o barriera impermeabile),** costituito da un diaframma plastico in cemento e bentonite, che vuole essere un impedimento fisico al deflusso delle acque sotterranee.

Esso è la più importante struttura di contenimento dei fluidi inquinati in questo stabilimento. Si trova fra la trincea drenante e la barriera idraulica (Fig. 3). E' stato realizzato (nel 1982) a sud del confine meridionale dello Stabilimento per una lunghezza complessiva di circa 1700 m e una profondità media di circa 10 - 12 m. Comincia dal pontile e si estende poi parallelamente al Canale Priolo. Vari piezometri (ad es. B9, B19, FW32, i cui simboli sono peraltro cambiati in seguito a nuove indagini) sono stati realizzati per verificarne l'efficienza. Nel 1999 è stata oggetto di indagine finalizzata alla verifica della sua funzionalità, allo scopo di realizzare interventi di adeguamento. Le indagini

condotte (anche di tipo geofisico oltre che basate su controlli piezometrici) mostrano per alcuni tratti risultati scadenti, imputabili verosimilmente a un decadimento delle caratteristiche del diaframma in termini di consistenza e addensamento, con alternanze quindi di settori con un buon grado di addensamento e di settori con scarso grado di addensamento.

In seguito alle indagini fatte svolgere dall'AGIP (in particolare quella del 1999), l'elaborazione dei dati ha portato alla formulazione di un progetto di revisione dell'opera, con prolungamento e rifacimento ex novo del diaframma impermeabile per un tratto avente lunghezza complessiva pari a 1200 m, a partire dall'area antistante il 3° centro Olio AGIP fino alla strada adiacente il Canale Priolo, all'altezza del serbatoio 660/S-31 (al confine fra l'Isola 20 e l'Isola 19). Il diaframma viene immerso nel substrato argilloso lungo gran parte del lato parallelo al Canale Priolo e sul restante tratto sarebbe di tipo sospeso, con profondità pari a 15 m. L'opera viene completata da un sistema di pozzi di drenaggio realizzati a monte, lungo tutta la lunghezza del diaframma, con lo scopo di captare i quantitativi idrici percolanti lungo tutto il fronte del diaframma stesso.

Durante i sopralluoghi degli scri-

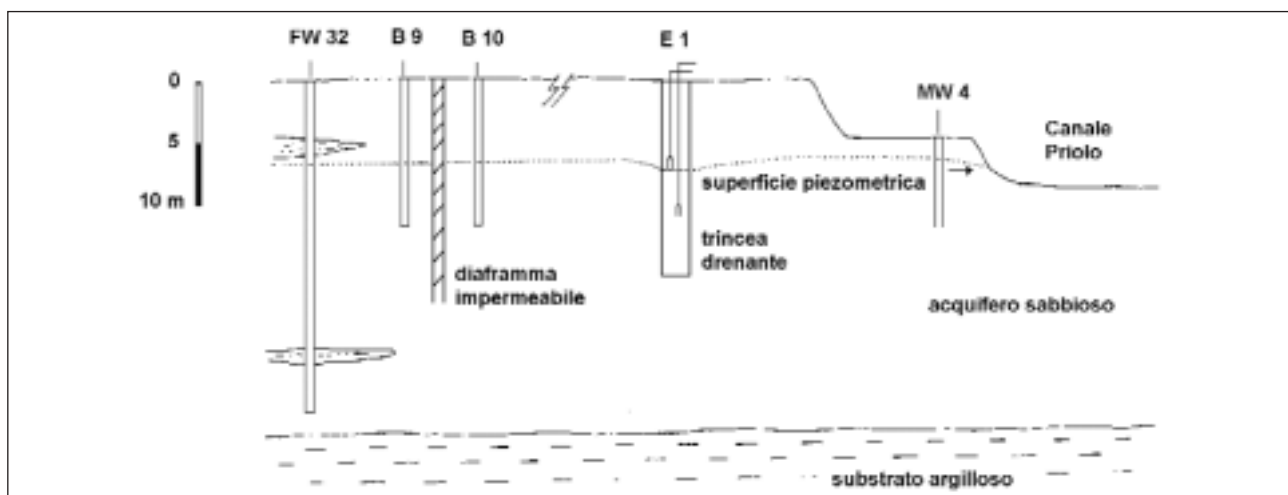
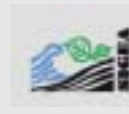


Fig. 5 - Sezione idrogeologica schematica in direzione trasversale al Canale Priolo ( da NO a SE), con i pozzi di monitoraggio delle acque sotterranee. Si nota a sinistra il diaframma impermeabile e a destra la trincea drenante: il pozzo con funzione drenante E1 è dotato di un sistema a doppia pompa, allo scopo di intercettare i fluidi inquinanti (v. Fig. 6) (Sez. B della planimetria di Fig. 3).





venti periti (inverno 2002 - 2003) tale prolungamento era in corso.

C - *Barriera idraulica*, realizzata al fine di creare un impedimento al deflusso sotterraneo mediante la depressione della falda, operata mediante pozzi di emungimento.

E' ubicata all'interno della "Recinzione fiscale". A metà dell'anno 2000 erano realizzati 3 pozzi di emungimento (RW1, RW2, RW3). Tale impianto fu realizzato allo scopo di bonificare l'area interessata da una perdita di prodotti petroliferi verificatasi sulla sponda sinistra del Canale Priolo in data 25 marzo 1998.

Durante la presente indagine dei periti risultavano realizzati 7 pozzi RW, a completamento della barriera idraulica dei primi tre pozzi.

Da quanto succintamente esposto, si evince un connotato alquanto comune alle opere di contenimento idraulico, ossia la disomogeneità strutturale delle opere che si traduce in una loro sostanziale scarsa efficacia.

Infine, in destra e in sinistra idrografica del Canale Priolo, nel tratto non cementato fino alla foce, l'AGIP ha disposto un impianto che utilizza la tecnologia del Bioventing, finalizzato alla degradazione dei contaminanti organici, incrementando il tenore di ossigeno naturalmente presente nel terreno in favore della flora batterica autoctona, la cui attività degradativa è sostenuta dalla somministrazione di nutrienti (Fig. 3). Tale impianto risultava attivo nella metà dell'anno 2000.

## PROCEDIMENTO METODOLOGICO E RISULTATI

Allo scopo di indagare sulla qualità delle acque sotterranee, è stata eseguita una indagine chimica e idrogeologica da parte degli scriventi sui corpi idrici sotterranei sottostanti lo stabilimento.

In seguito a tale indagine si è rilevata la presenza di idrocarburi galleggianti, a causa del minore peso specifico, sulla falda acquifera locale. La quantità di tale "surnatante" si è rivelata cospicua, tale da far decidere gli scriventi a valutare il volume di surnatante rilevato in vari pozzi/piezometri della raffineria di Gela. L'indagine sperimentale è stata svolta il 4, 5 e 6 novembre 2002.

A seguito della citata campagna di indagine, svolta con freatimetro e campionatore in alcuni piezometri della raffineria di petrolio AGIP di Gela, si sono rilevati i valori illustrati della seguente tabella 1.

Come era da prevedere, nei pozzi in cui era presente il surnatante, la sottostante falda acquifera risultava fortemente inquinata dagli idrocarburi. In particolare si è sempre riscontrata una stratificazione dei prodotti di

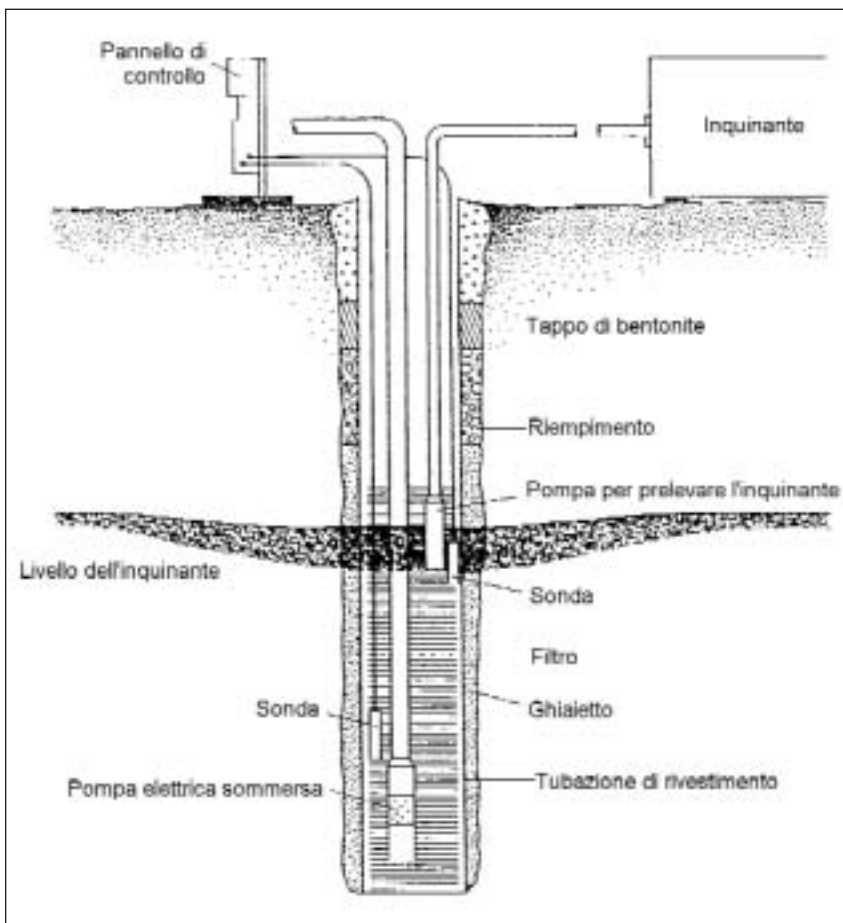


Fig. 6 - Pozzo E1. Schema del sistema a doppia pompa. Esso prevede l'impiego di due pompe sommergibili: una che pesca il più possibile in profondità all'interno del pozzo ( nel caso in questione, a circa - 11 m di profondità); l'altra, posizionata più in alto ( nello specifico a - 7 m di profondità), in prossimità della superficie di separazione tra acqua e idrocarburi, in modo da sollevare esclusivamente questi, che galleggiano sull'acqua ("surnatanti"). La pompa più profonda solleva solo acqua, provoca la depressione della superficie piezometrica e fa affluire gli idrocarburi nel pozzo; quella superficiale ha il compito di recuperare solo gli idrocarburi. In tal modo, non vi è mescolamento tra l'acqua di falda e l'idrocarburo, che può essere raccolto separatamente ( ordine di grandezza di circa 20 litri/giorno).

raffinazione, per cui la parte superiore dello strato era costituita da benzine, sotto le quali era presente gasolio, verificandosi quindi una stratificazione in base alle rispettive densità delle sostanze.

I riferimenti cartografici dei pozzi indicati in tabella 1 sono indicati nella figura 7.

I dati misurati sperimentalmente forniscono una quota relativa del livello del surnatante. Per poter riferire

tale quota all'altezza assoluta sul livello del mare si è ricostruita la superficie topografica locale.

Per fare ciò sono state utilizzate le misure delle quote assolute note di boccapozzi desunte dai precedenti lavori condotti da alcune Imprese impegnate dall'AGIP.

Tali valori sono stati successivamente correlati a mano e tramite l'uso di software specifici, al fine di avere una restituzione continua delle iso-

Codice pozzo	Quota boccapozzo (m s.l.m.)	Quota surnatante dal p.c.	Quota surnatante (m s.l.m.)	Quota della superficie della falda dal p.c.	Quota della superficie della falda (m s.l.m.)	Spessore del surnatante
MW34	9.00	9.25	2.25	7.24	1.76	0.00
MW47	11.50	10.90	1.60	10.00	1.50	0.75
MW42	12.50	12.10	0.90	12.00	0.50	1.10
MW44	13.00	10.05	-1.05	12.90	0.10	0.80
MW48	11.00	8.40	-0.40	12.30	-1.30	0.25
MW50	8.00	9.35	-3.35	8.60	-0.60	0.20
MW53	6.00	0.00		9.76	-3.76	0.41
MW55	5.50	6.25	2.75	6.80	0.80	0.00
MW45	10.50	11.40	1.60	6.93	3.57	0.68
MW39	13.00	10.35	2.65	11.80	1.20	0.40
MW38	13.00			10.50	2.50	0.15
PZP14	8.50			5.11	3.39	0.00
SPP3	8.00			3.08	4.92	0.00
MW51	6.00	7.50	-1.50	7.90	-1.90	0.40
MW52	6.00	7.75	-1.75	8.00	-2.00	0.25
MW54	6.00	7.37	-1.37	7.90	-1.90	0.53

Tab. 1 - Quote del surnatante e della falda rilevate nei pozzi di controllo

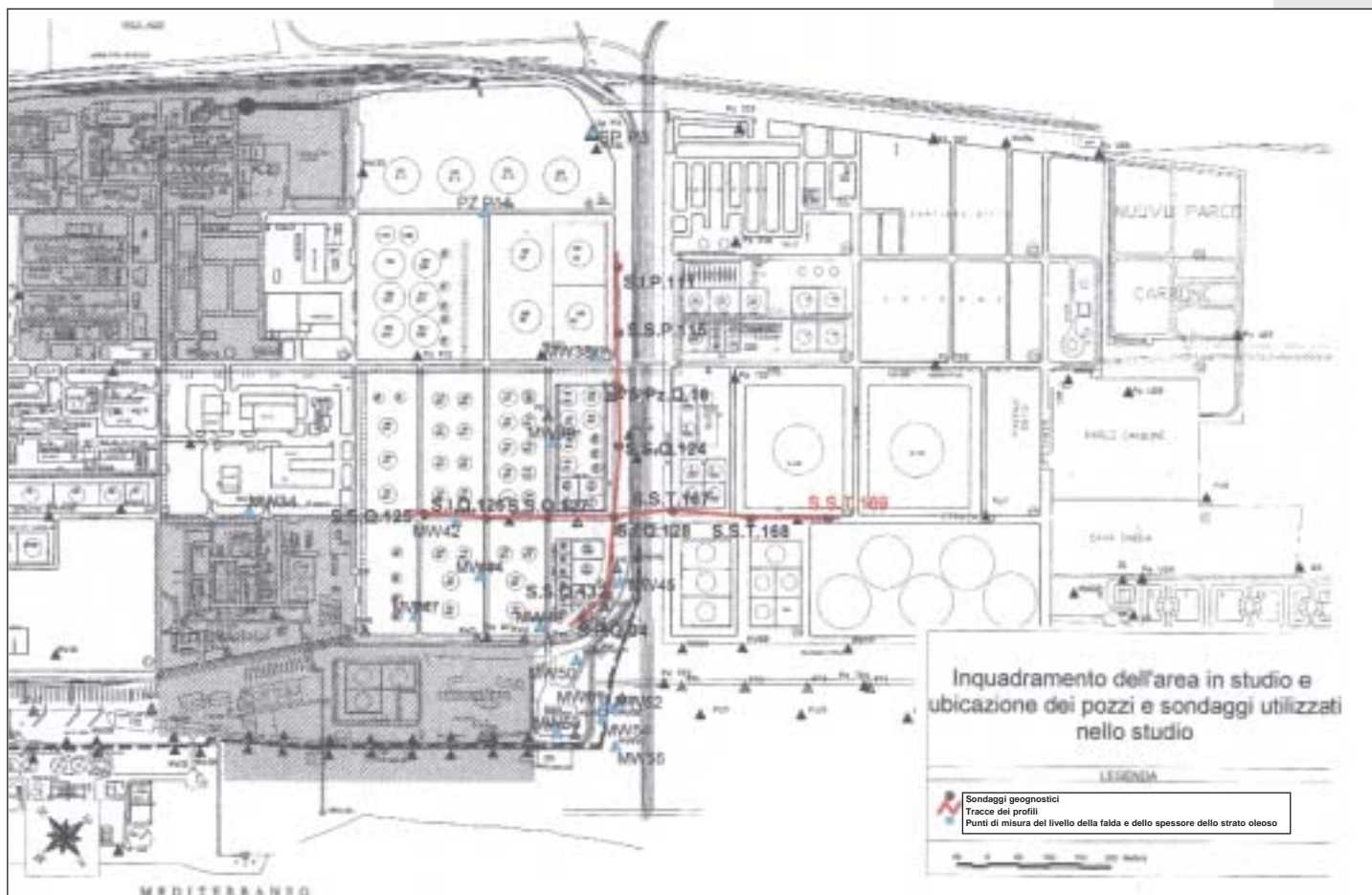


Fig. 7 - Corografia dell'area in studio (settore orientale dell'impianto petrolchimico di Gela), con indicazione dei sondaggi geognostici e dei punti di misura (pozzi o piezometri).

pse. In particolare, per la costruzione dell'andamento delle isoipse, come anche delle isofreatiche e delle isobate, si è usato un sistema informativo territoriale (GIS).

I dati e le informazioni desunti dalla campagna sperimentale e dai lavori di letteratura sono stati elaborati tramite l'utilizzo del software *ARCVIEW 3.2* e delle sue estensioni (*Spatial Analysis*): si è prima di tutto creato un GIS che raccogliesse tutte le informazioni necessarie (livello statico, livello del surnatante, stratigrafie) e poi si è passati all'elaborazione tramite *Spatial Analysis* che partendo da dati puntuali permette di ricostruire linee di ugual valore (isofreatiche, isoipse, ecc.) (Fig. 8).

Una volta ricostruito l'esatto andamento della topografia locale si sono potute trasformare le altezze relative del surnatante e della falda idrica in quota assolute, così come indicate nella tabella 1 sopra esposta.

Dai valori misurati, dunque, si è passati alla correlazione di essi tramite l'elaborazione del software e lettura critica dei risultati forniti.

In linea generale, il criterio usato è di tipo prettamente geometrico; ossia se ipoteticamente in un piezometro è stato riscontrato uno spessore del surnatante di 80 cm e nel piezometro più vicino di 40 cm, si ipotizza che nel punto medio fra i due esista uno strato galleggiante dello spesso-

re di 60 cm.

Con questo procedimento, pur consapevoli di introdurre delle approssimazioni (poiché non si tiene conto delle litologie presenti, dei gradienti della falda, ecc.) si sono ricostruite le linee di uguale spessore del surnatante, le isobate (Fig. 9).

La elaborazione delle informazioni ricavate dal GIS hanno consentito di affermare che la superficie contaminata dall'inquinante è di circa 580.000 m<sup>2</sup>. In particolare, come si nota dalla carta tematica raffigurata nella figura. 09, l'area interessata dal surnatante è situata nelle Isole 15, 16, 17, 19, 20, 23 e 24, in gran parte in destra orografica del Canale Priolo e in piccola parte in sinistra. L'area inquinata giunge fino in prossimità del litorale.

Conoscendo la superficie interessata dal surnatante e gli spessori dello strato di olio galleggiante si è, con la dovuta approssimazione del caso, risaliti al volume del terreno contaminato.

Il volume del terreno (sistema roccia + vuoti intergranulari) contaminato è dell'ordine di circa 180.000 m<sup>3</sup>.

Data la natura eterogenea dei sedimenti che caratterizzano i terreni inquinati (trattasi di dune costiere), si è fatta l'ipotesi conservativa di assumere una porosità efficace pari a 0,3; per cui il valore reale del volume di surnatante disperso nel sottosuolo risulta di circa 54.000 m<sup>3</sup>.

La ricostruzione della falda freatica, utile poiché rappresenta il letto dello strato galleggiante, è di difficile risoluzione con i pochi dati sperimentali in possesso. Dall'elaborazione delle quote del livello freatico dedotto dalla campagna sperimentale del 4 - 6 novembre 2002 si è tentato di ricostruire l'andamento delle piezometriche nell'area in esame (Fig. 10).

I risultati ottenuti non si allineano perfettamente con le precedenti campagne conoscitive eseguite dalle Società di servizi per conto dell'AGIP; tale discordanza è ben giustificabile se si tiene conto della scarsità dei nostri dati sperimentali, delle varie opere "barriera" che influenzano l'andamento delle linee di drenaggio e dei numerosi pozzi in funzione, che forniscono quindi una misura del livello dinamico della falda e non statico.

Come verifica dei dati ottenuti e per fornire un quadro schematico della situazione si sono ricostruiti due profili ortogonali, passanti per pozzi e piezometri di cui si dispongono le relative stratigrafie (Figg. 11 e 12).

I profili sono stati costruiti esaltando le scale delle altezze, per rendere evidente l'andamento della falda e del surnatante. Si sono, inoltre, riportate le stratigrafie disponibili per meglio sottolineare l'eterogeneità dei depositi.

Dai 2 profili riportati, si vede chiaramente come gli spessori maggiori



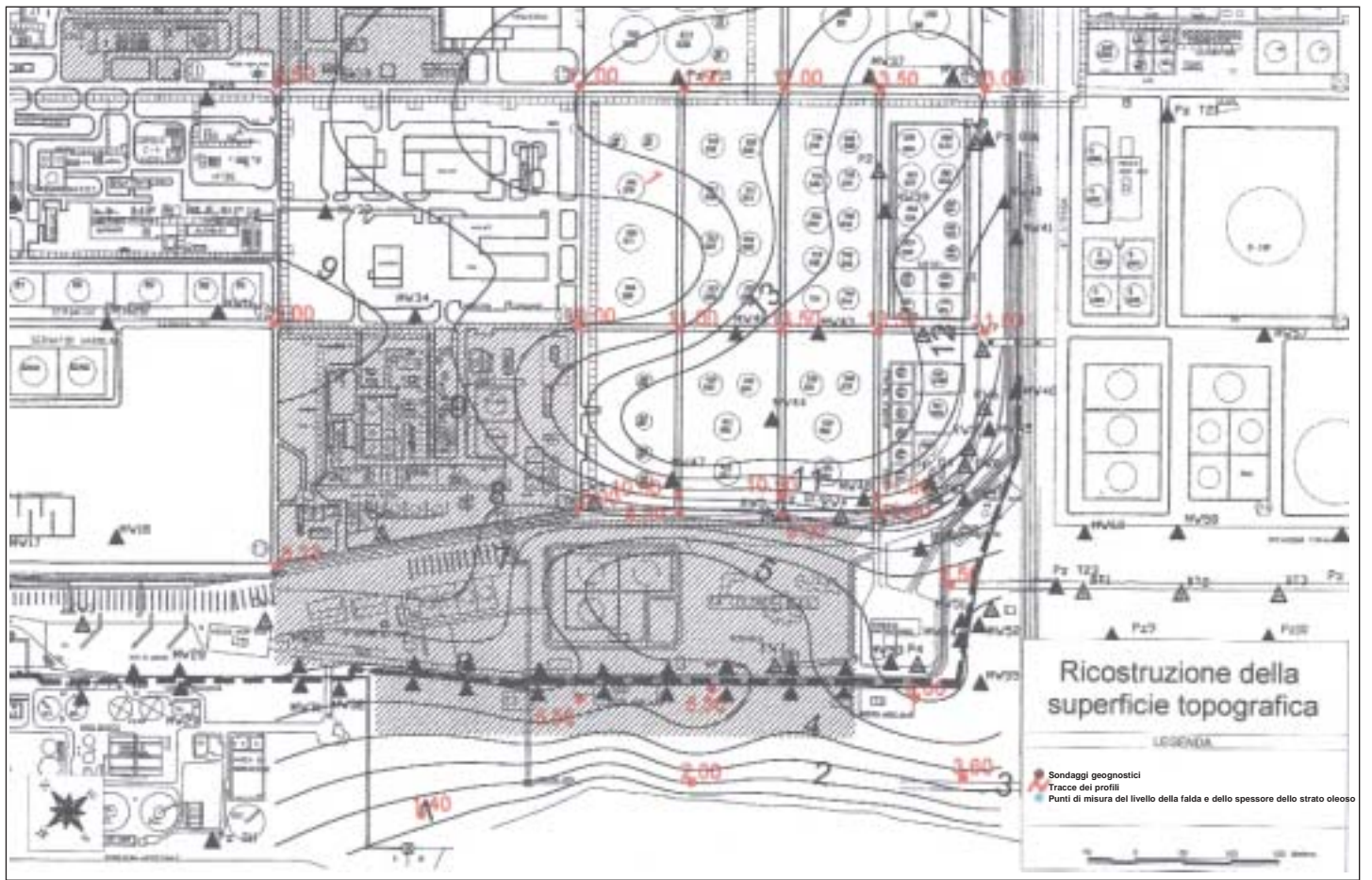


Fig. 8 - Ricostruzione della superficie topografica.

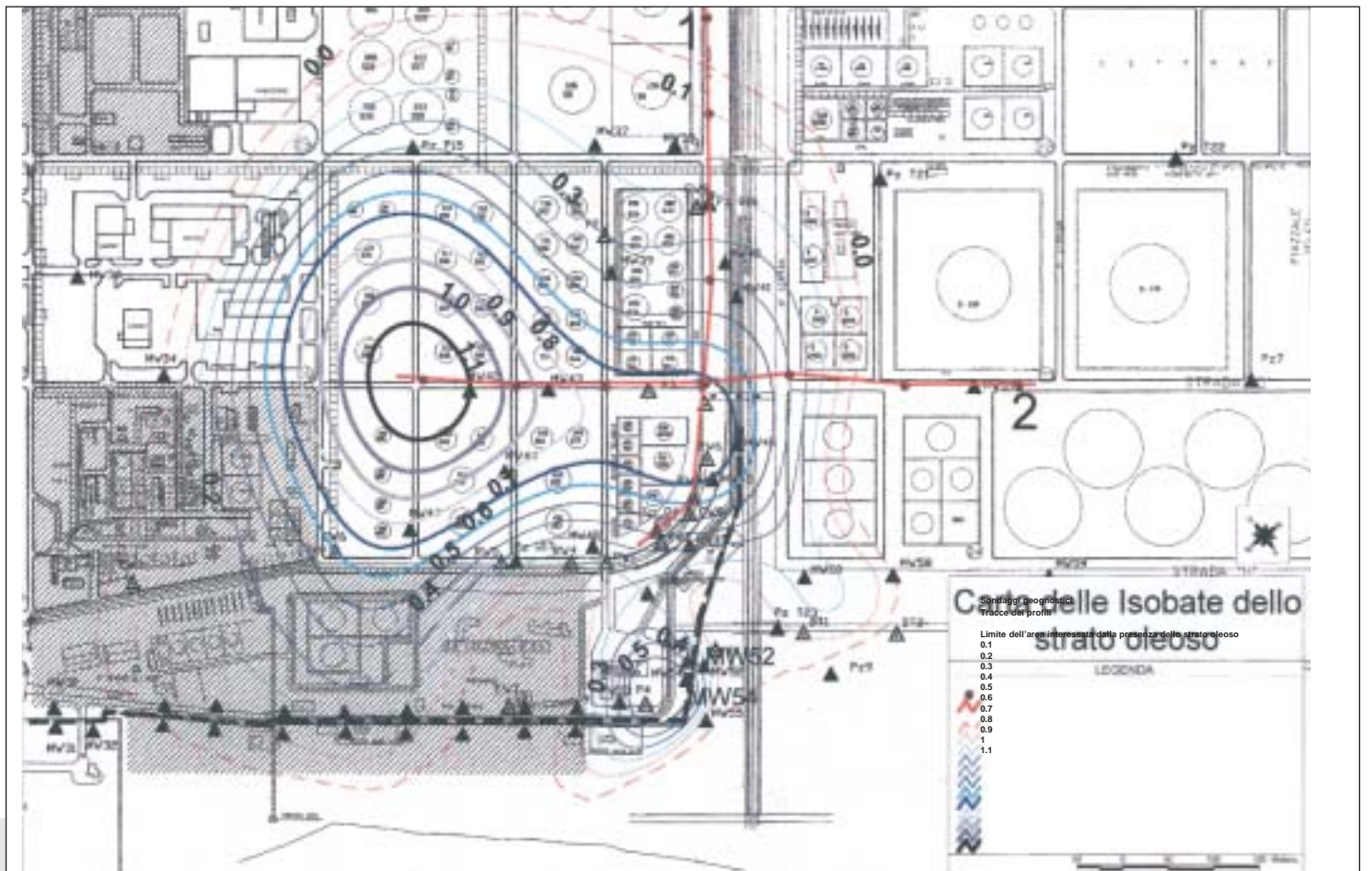


Fig. 9 - Isobate del surrante.



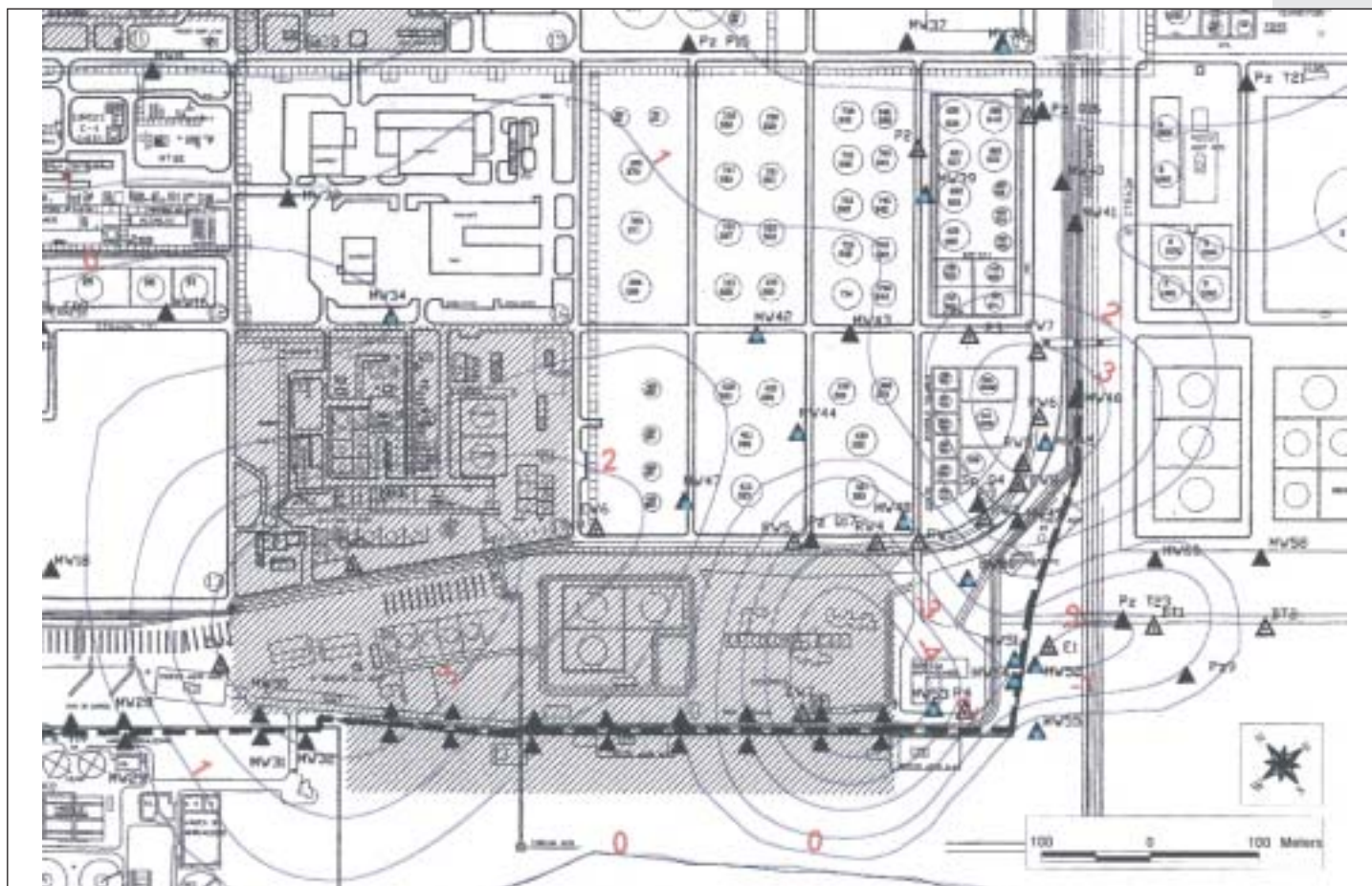


Fig. 10 - Carta delle isofreatiche.

del surnatante si concentrino nell'Iso-  
la 20, nell'intorno del pozzo MW42.

## INDAGINI CHIMICHE

Le indagini chimiche si sono svolte su due serie di campioni; la prima serie è costituita da 5 campioni di acqua, spesso con presenza di oli, prelevati in data 10 luglio 2002; la seconda serie è costituita da campioni, di acqua e/o olio prelevati da 23 diverse postazioni nei giorni 4, 5, e 6 novembre 2002.

### CAMPIONI PRELEVATI IL 10 LUGLIO 2002

L'esame degli atti non forniva indicazioni univoche sullo stato generale di contaminazione della falda; si è quindi proceduto, a scopo esplorativo, al prelievo di campioni preliminari di acqua in cinque pozzi piezometrici tramite campionatore di profondità. Si è constatato che, in quattro campioni di acqua (Gela 1, SPP3; Gela 2, MW 48; Gela 3, MW 50; Gela 4, B 31) su cinque, era presente olio sulla superficie dell'acqua. Questo rendeva scarsamente significative ai fini del controllo dei limiti di legge le analisi dell'acqua; infatti la presenza dell'olio da un lato modifica continuamente, fino al raggiungimento dell'equilibrio, la concentrazione degli idrocarburi disciolti in acqua; dall'altro la presenza dell'olio nell'acqua campionata indicava la possibile esistenza di uno strato di olio anche al di sopra della falda, e questo

rendeva inidoneo il sistema di campionamento utilizzato per la determinazione degli idrocarburi disciolti.

D'altro lato la presenza stessa di uno strato di olio sulla falda testimoniava un grave stato di contaminazione. Non è stato però possibile, in questo primo campionamento, avere un'idea dello spessore dello strato oleoso.

Sono quindi state effettuate analisi tese ad identificare quali fossero le sostanze maggiormente tossiche presenti nell'olio che possono sciogliersi nell'acqua, per caratterizzare la pericolosità della contaminazione e la sua possibilità di diffusione nella falda acquifera; nello stesso tempo sono state effettuate analisi sugli oli presenti per identificarne la natura e conseguentemente la provenienza.

### ANALISI EFFETTUATE

Sulle acque sono state effettuate le determinazioni di alcuni idrocarburi aromatici policiclici (IPA), composti cancerogeni generalmente presenti negli oli minerali, e di policlorobifenili (PCB), composti altamente tossici frequentemente associati alla produzione e distribuzione di energia elettrica. Questi ultimi composti, per la elevata persistenza ambientale e capacità di bioaccumulo, sono considerati contaminanti prioritari (D. Lgs. 18/08/2000, n. 258, all.1) Va sottolineato che lo scopo delle analisi non era tanto l'accertamento dei livelli di contaminanti secondo la normativa

antiquamento quanto la verifica sperimentale della possibilità delle sostanze presenti nell'olio di migrare nell'acqua a contatto e quindi nella falda acquifera.

### RISULTATI

I cromatogrammi delle analisi qualitative per l'identificazione della tipologia del prodotto, che chiameremo *analisi di tipizzazione*, sono stati confrontati con quelli di un gasolio e di una benzina commerciale presenti in laboratorio e con quelli di un gasolio e di una benzina prodotti nella raffineria e acquisiti successivamente (Figg. 13 e 14).

Nella Tabella 2 sono riportate le quantità di olio pesante disciolto in acqua. Confrontando i valori con quelli del "bianco", emerge che la contaminazione dei campioni segue quest'ordine decrescente: Gela 2, Gela 3, Gela 1, Gela 5, Gela 4; quest'ultimo presenta un contenuto di residuo comparabile al bianco.

I cromatogrammi mostrano che i residui oleosi disciolti nelle acque sono principalmente costituiti da idrocarburi che hanno un intervallo di eluzione simile al gasolio.

Nel cromatogramma del campione Gela 2, si nota, nell'olio tal quale, anche una componente di idrocarburi con un intervallo di eluzione simile alla benzina. Si nota inoltre nei campioni Gela 2 e 3 una notevole somiglianza dell'olio estratto dall'acqua con l'o-

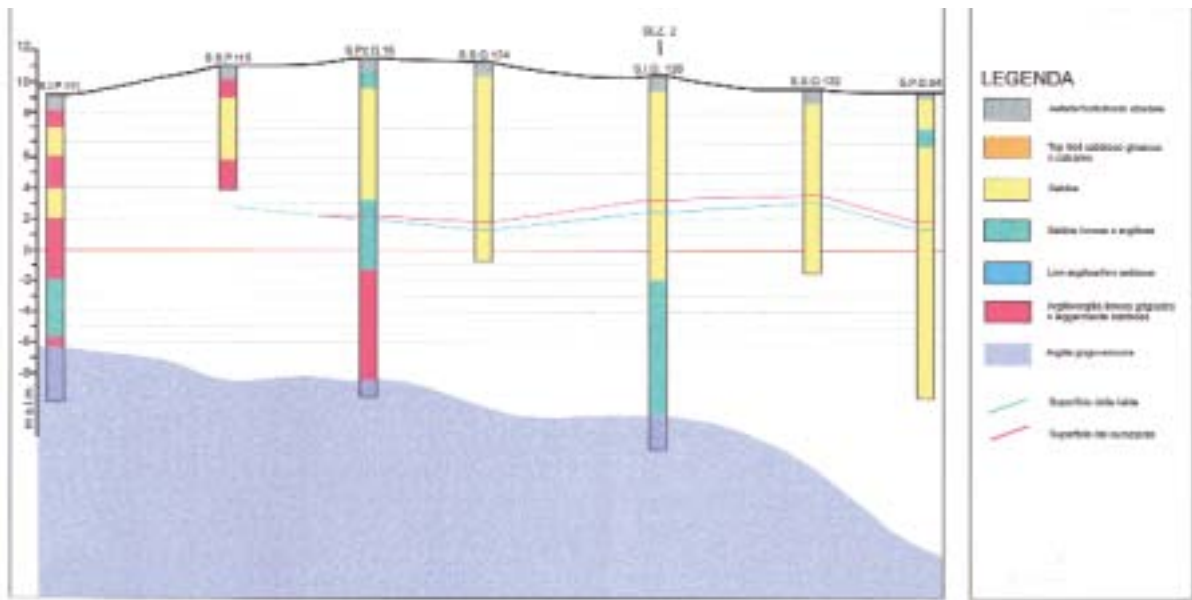


Fig. 11 - Profilo idrogeologico, N - S.

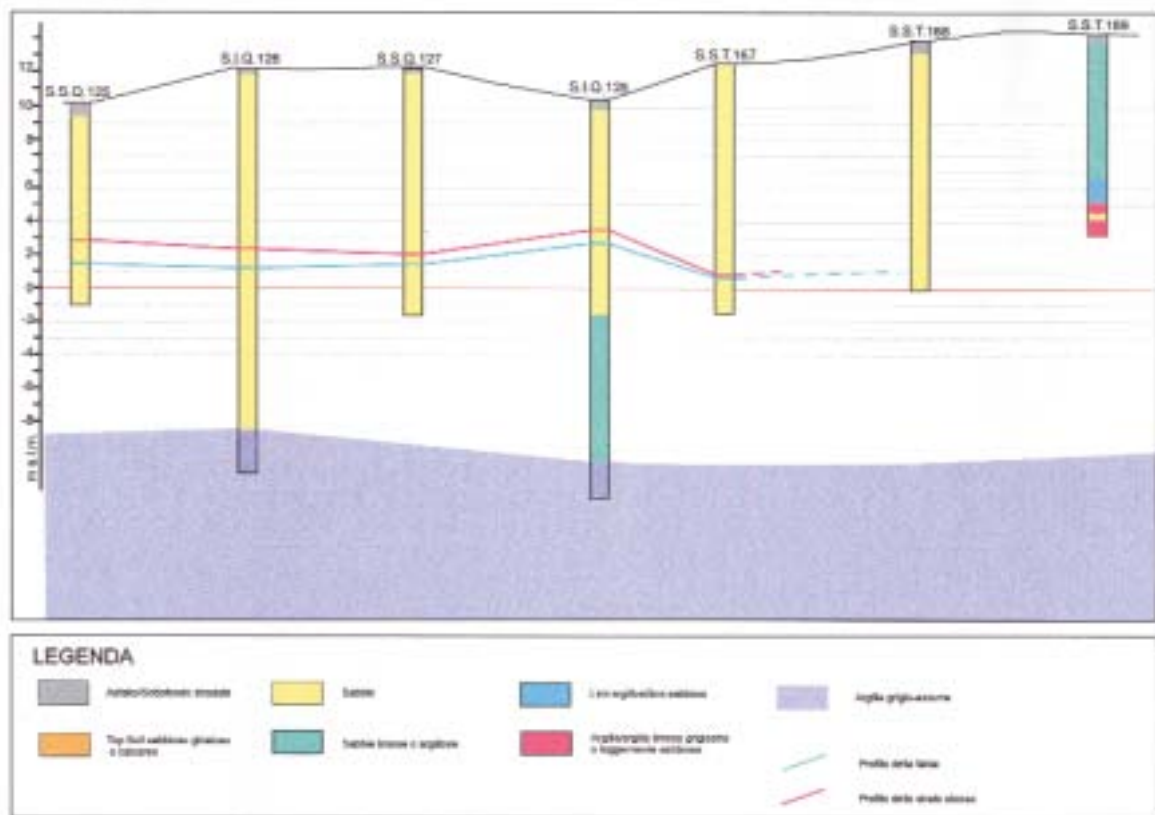


Fig. 12. - Profilo idrogeologico, W - E.

lio tal quale, a riprova del fatto ampiamente prevedibile che una parte dell'olio soprannatante si scioglie in acqua e che quindi l'inquinamento può diffondersi.

Nella Tabella 3 sono riportati i risultati relativi agli IPA nei campioni di acqua; come si vede, i campioni Gela 2 e 3, che contenevano la maggior quantità di olio disciolto, contengono anche le maggiori concentrazioni di IPA; nel campione Gela 2 la concentrazione di benzo(a)pirene è addirittura di 295 mg/L, circa 29 volte superiore al limite di 10 mg/L stabilito per le acque sotterranee dal DM 471/99.

Questo valore, giova ripetere, non è da considerare fiscale, dato il modo di prelievo (e conservazione) del cam-

pione, ma serve a dimostrare sperimentalmente quanto già ampiamente noto dalla teoria, e cioè che anche composti poco solubili in acqua vi si sciolgono quando sono a contatto prolungato.

Per quanto riguarda le analisi dei PCB nei cinque campioni di acqua, è stato determinato il solo congenere 180 (2,2',3,4,4',5,5'-esaclorobifenile) quale prevalente nel caso in esame e quindi miglior indicatore della presenza di PCB. Tale congenere, da solo, nel campione Gela 2 eccede (240 mg/L) la concentrazione limite dei PCB totali (10 mg/L) per le acque sotterranee del DM 471/99. Ancora una volta questo non è un valore fiscale, ma dimostra che la presenza di olio a contatto

con l'acqua è una continua fonte di contaminazione per la stessa. La presenza dei PCB, che non sono generalmente presenti nei prodotti di raffinazione indica probabilmente che l'olio presente sopra la falda, nel suo cammino attraverso il terreno, ha raccolto questi inquinanti presenti evidentemente nel terreno. La presenza di PCB nell'olio è stata confermata dalle successive analisi.

#### CAMPIONI PRELEVATI IL 4, 5 E 6 NOVEMBRE 2002

La strategia di questa campagna di prelievo può essere così riassunta:  
- nei punti dove è presente olio sulla





Campione	Gela 1	Gela 2	Gela 3	Gela 4	Gela 5	Bianco
mg/L	13,6	84,9	26,7	8,8	12,6	7,4

Tab. 02 - Valori di olio pesante (determinato per pesata dopo concentrazione) disciolto in acqua in cinque campioni

falda è stato prelevato l'olio puro per tipizzarlo mediante analisi GC-MS; si è cercato inoltre di misurare lo spessore dello strato oleoso e è stata prelevata l'acqua sottostante solo ai fini della misura della salinità, dato che da un lato la presenza di olio dimostrava da sola lo stato di contaminazione della falda, dall'altro avrebbe reso molto difficile il prelievo di un campione non contaminato di olio a causa del campionamento stesso;

- nei punti dove non sembrava essere presente l'olio, è stata prelevata acqua per la determinazione del benzene, la sostanza più significativa per solubilità in acqua e per tossicità tra quelle presenti nei prodotti petroliferi, del carbonio organico totale (TOC), un indicatore generale delle sostanze organiche disciolte, e della salinità. Sugli stessi campioni è stata effettuata in loco l'estrazione degli oli per la successiva analisi GC-MS di tipizzazione.

Sono stati così raccolti:

- 13 campioni dello strato di olio soprastante la falda acquifera;
- 8 estratti dell'olio disciolto in acqua
- 6 campioni per l'analisi del TOC
- 6 campioni per l'analisi di benzene toluene e xileni
- 21 campioni di acqua per l'analisi della salinità

Sono inoltre stati prelevati, presso la raffineria, un campione di petrolio greggio "Gela" e due di prodotti della raffineria stessa: uno di gasolio e uno di benzina verde.

In questa relazione abbreviata non verranno riportati tutti i risultati delle analisi chimiche effettuate, ma solo quelli ritenuti che più chiaramente illustrano gli aspetti di maggior rilievo.

La prima e più significativa osservazione tratta da questa campagna di prelievi è la presenza di uno spesso strato di olio sopra la falda acquifera: misurazioni effettuate durante i prelievi hanno mostrato, in 12 piezome-

tri sparsi su una superficie di 580000 m<sup>2</sup> prevalentemente all'interno della raffineria, uno strato oleoso di spessore variabile tra un minimo di 20 cm ed un massimo di 110 cm. Non è stato possibile, per la mancanza di un numero adeguato di piezometri, delimitare con estrema esattezza l'estensione e i margini dello strato oleoso, né ciò costituiva l'oggetto dell'indagine.

L'estensione della contaminazione e la quantità di prodotto implicato sono stati trattati nella parte precedente, da cui si ricava una valutazione approssimativa che porta a stimare che sulla falda giace una quantità di olio di circa 44.000 tonnellate (ipotizzando una densità media dell'olio a 15°C=0,81).

Una quantità di tal genere è da considerarsi, più che un inquinamento della falda e del terreno che ne è impregnato (in accordo alla stima precedente, il volume di terreno impregnato di olio è di circa 180.000 m<sup>3</sup>), una vera e propria emergenza ambientale.

Infatti, il materiale oleoso è costituito, per sua natura, da un numero elevato di composti chimici affini nessuno dei quali è presente naturalmente nel terreno o nell'acqua, molti dei quali sono tossici ed alcuni cancerogeni.

#### ANALISI EFFETTUATE

Sui campioni di olio, sui campioni di petrolio greggio, di gasolio, di benzina verde e sui campioni degli estratti sono state effettuate analisi di tipizzazione mediante GC-MS; su quattro campioni di olio è stata effettuata la determinazione degli IPA e dei PCB; su alcuni campioni di olio è stata effettuata l'analisi qualitativa per la presenza di benzene e il saggio di precipitazione degli asfalteni; su sei campioni di acqua è stata effettuata l'analisi di benzene, toluene e xileni e del TOC; su 21 campioni di acqua è stata effettuata l'analisi della salinità.

## RISULTATI DELLE ANALISI

Il campione raccolto presso il pozzo E1 presenta valori particolarmente elevati di benzene, toluene e xileni. Un altro aspetto estremamente rilevante di questa analisi è che questo rappresenta l'unico campione di acqua raccolto sotto la superficie dello strato di olio e in quanto tale può essere considerato rappresentativo della contaminazione dell'acqua vicina allo strato a contatto con l'olio.

Il valore di benzene trovato di 8310 µg/L è significativo da diversi punti di vista:

- legalmente, esso è 8310 volte più alto del limite, stabilito dal DM 471/99 in 1 µg/L;

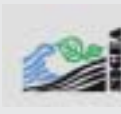
- perché dimostra la pericolosità della presenza di olio sulla falda, in quanto illustra gli effetti della nota capacità del benzene, per la sua solubilità (circa 1,78 g/L), di inquinare le acque. Va tenuto presente che il benzene è un componente naturale del petrolio e dei suoi prodotti, ed in particolare della benzina, e che è stato classificato dall'Agencia Internazionale per la Ricerca sul Cancro (IARC) come cancerogeno umano provato (gruppo 1).

I risultati della *analisi di tipizzazione* degli estratti mostra generalmente presenza di prodotti nell'intervallo di eluizione del gasolio, eccetto, come già accennato, gli estratti E1 e T24, che presentano prodotti nell'intervallo di eluizione della benzina, e l'estratto SPP3, che presenta anche prodotti più pesanti, compatibili con il petrolio greggio.

La Figura 15 illustra i risultati ottenuti sui campioni di olio surnatante di cui alla lettera A del passo precedente.

La analisi di tipizzazione degli oli mostra tre diversi tipi di profili di eluizione: uno simile al gasolio, cui sostanzialmente appartengono i seguenti campioni: MW38; MW39; MW 45; MW 50; uno che si può considerare costituito da benzina più gasolio, cui appartengono: MW 42 marrone; MW 48; MW51; MW53; MW 54, ed, infine, un profilo in cui è nettamente prevalente l'intervallo di eluizione della benzina e prodotti volatili, con presenza minoritaria di gasolio; a questa appartengono: MW42 verde; MW44; MW47; MW 52. Le analisi dimostrano che il prodotto più profondo è più ricco di gasolio, maggiormente denso, e che esiste quindi nello strato oleoso una stratificazione per densità.

Uno degli aspetti più rilevanti dei risultati delle analisi di tipizzazione è che tutto l'olio presente sopra la falda è costituito da prodotti finiti, distillati (benzina, gasolio o una miscela dei due) e che non sembra essere presente una componente significativa di petrolio greggio. In alcuni casi la somiglianza tra il gasolio prodotto di fre-



	GELA 1	GELA 2	GELA 3	GELA 4	GELA 5
Benz(a)antracene	< 0,0001 **	0,0410	0,0191	0,0057	0,0087
Crisene	< 0,0001 **	0,2706	0,0637	0,0185	0,0264
Benzofluoranteni <sup>†</sup>	< 0,0001 **	0,0074 *	0,0070	0,0077 *	0,0074 *
Benzof(e)pirene	0,0017 **	0,5031	0,0130 *	0,0044 *	0,0059 *
Benzof(a)pirene	0,0009 *	0,2934	0,0057	0,0016 *	0,0021 *
Indeno(1,2,3-cd)pirene	< 0,0002	0,0718	0,0007	0,0003	0,0004
Dibenzo(a,h)antracene	< 0,0003	0,0119	< 0,0001	< 0,0002	< 0,0002
Benzofghi)perilene	< 0,0003	0,6466	0,0041	0,0015	0,0020
Perilene	< 0,0006	0,0502	0,0006	< 7E-05	0,0001

<sup>†</sup> Somma di Benzof(b)fluorantene, Benzof(j)fluorantene, Benzof(k)fluorantene  
 Il numero di asterichio segnala la crescente incidenza del bianco: \*\*= bianco tra 5 e 25% del campione  
 \*\*\*=bianco tra 25 e /5% del campione; \*\*\*\*=bianco tra /5 e 125% del campione

Tab. 3 - Idrocarburi policiclici aromatici nei campioni acquosi (µg/L)

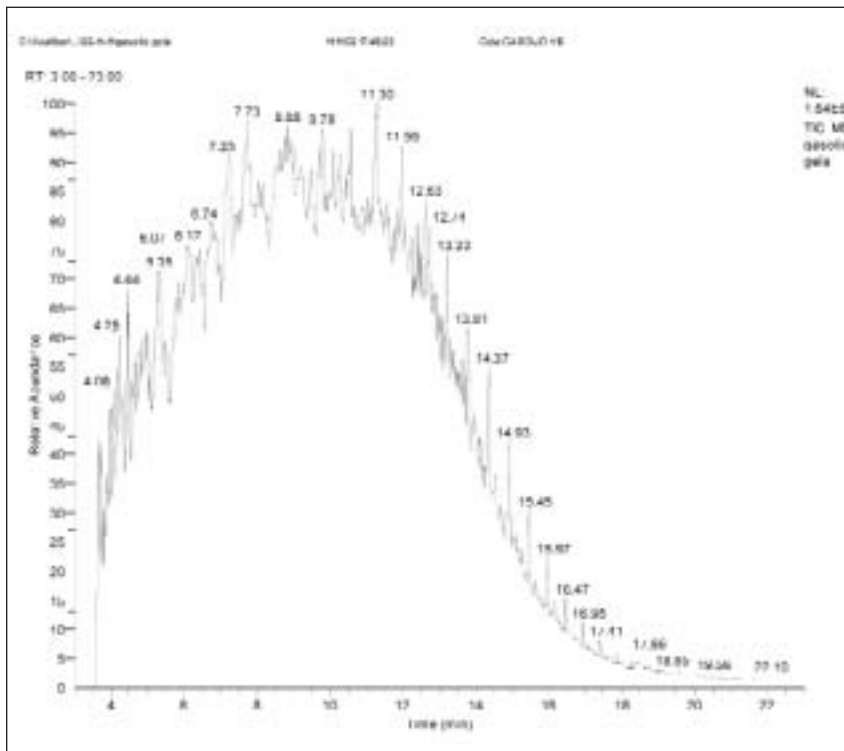


Fig. 13 - Cromatogramma di massa in scansione (50-501 amu) del campione di gasolio prodotto a Gela.

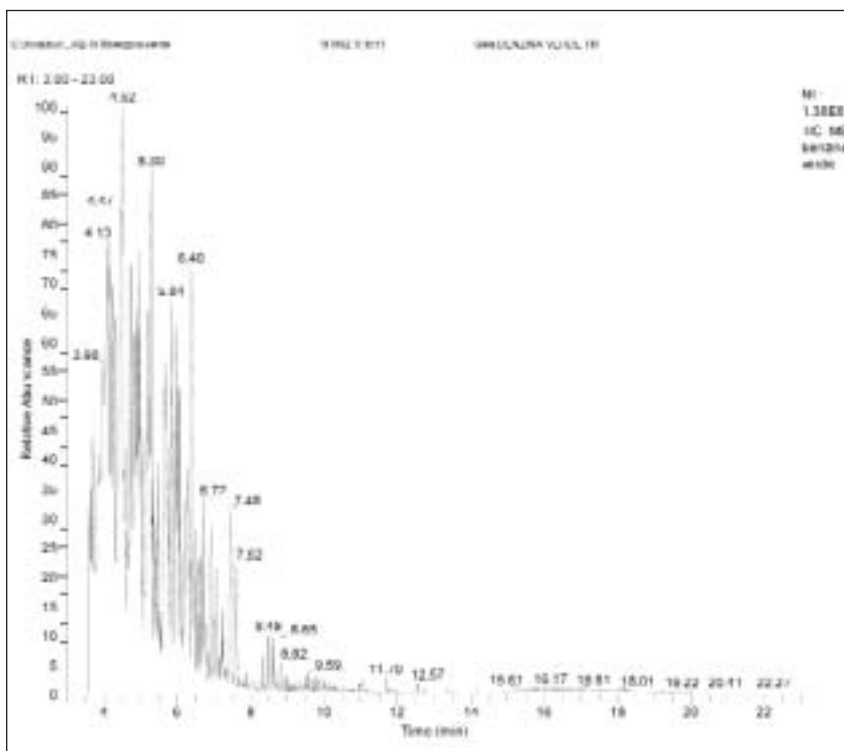


Fig. 14 - Cromatogramma di massa in scansione (50-501 amu) del campione di benzina verde prodotta a Gela.

sco dalla raffineria e l'olio è notevole (MW38 ed MW39); il fatto tuttavia che l'olio presente sulla falda sia costituito comunque da miscele di prodotti rende inutile la ricerca di una assoluta identità di composizione tra i prodotti puri (gasolio, benzina verde) e l'olio stesso. D'altro lato il fatto che l'olio abbia diversa composizione in siti diversi e sia generalmente costituito da una miscela di prodotti testimonia del fatto che non è una singola perdita a causare l'accumulo di olio, ma diverse perdite che avvengono in luoghi

diversi.

Il fatto infine che l'olio sia costituito da prodotti di raffinazione individuati come possibile causa solo la perdita da impianti o serbatoi della raffineria.

Sono state infine effettuate le analisi degli IPA e dei PCB in alcuni campioni selezionati; lo scopo di queste analisi è dimostrare la presenza di queste due classi di composti altamente cancerogeni e quindi la pericolosità della presenza di olio sulla falda.

La presenza degli IPA nei prodotti

petroliferi è un fatto noto: è però il caso di verificarla sperimentalmente e misurarne l'entità. Per quanto riguarda i PCB, questi non sono invece composti generalmente presenti nei prodotti petroliferi. Tuttavia la loro presenza nei suoli industriali è nota; la loro presenza nell'olio potrebbe quindi essere un indicatore della loro presenza nel terreno attraverso cui è fluìto l'olio.

I risultati dell'analisi degli IPA sono riportati in Tabella 04.

I risultati indicano che i livelli di IPA presenti variano nei vari punti di prelievo; essi sono comunque compatibili con i livelli di questi composti generalmente presenti in gasoli e benzine; va notato che i due campioni prelevati dallo stesso piezometro a quote diverse, e di cui si era già detto della differente composizione, mostrano, logicamente, differenti livelli di IPA con valori maggiori per quello più ricco di gasolio.

I risultati complessivi relativi ai PCB mostrano che sono nettamente prevalenti i congeneri ad elevato grado di clorurazione e che la causa può essere una miscela ad alto contenuto di cloro, tipo Aroclor 1262. Questo profilo di contaminazione è piuttosto specifico e differisce notevolmente dal profilo di contaminazione ambientale più diffuso. Il congenero più abbondante tra quelli analizzati è il n°180 (2,2',3,4,4',5,5'-eptaclorobifenile) e questo dato è in accordo con quanto trovato sul campione di acqua Gela 2.

Come detto, la presenza di PCB nell'olio è probabilmente la conseguenza della contaminazione del terreno. I prodotti petroliferi, fuoriusciti da impianti o depositi, nel loro fluire nel terreno hanno sciolto e trasportato i PCB.

## CONCLUSIONI

### STATO DELLE ACQUE

#### SOTTERRANEE

Gli accertamenti analitici svolti descrivono una situazione caratterizzata da una estesa presenza di un ingente strato di olio sulla superficie della falda acquifera sottostante la raffineria.

Misurazioni effettuate durante i prelievi dei giorni 4-6 novembre 2002 hanno mostrato, in 12 piezometri sparsi su una superficie di 580000 m<sup>2</sup> prevalentemente all'interno della raffineria, uno strato oleoso di spessore variabile tra un minimo di 20 cm ed un massimo di 110 cm. Non è stato possibile, per la mancanza di un numero adeguato di piezometri, delimitare esattamente l'estensione e i margini dello strato oleoso, né ciò costituiva l'oggetto dell'indagine.

Tuttavia, una valutazione approssimativa porta a stimare che sulla falda giace una quantità di olio di circa





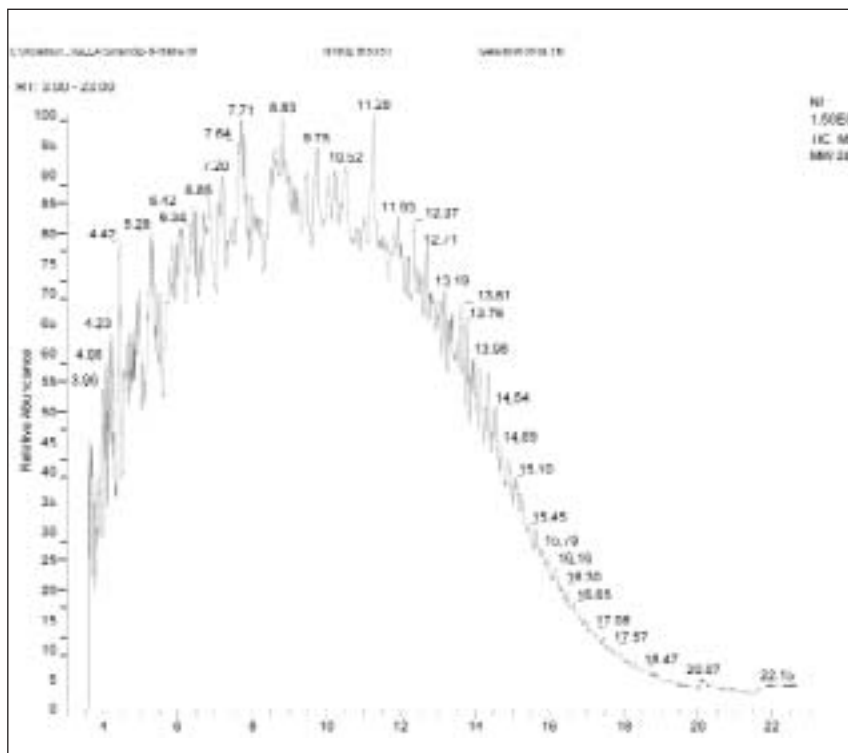


Fig. 15 - Il cromatogramma di massa in scansione (50-501) del campione di olio surnatante nel pozzo MW38 illustra la somiglianza con il gasolio prodotto dalla raffineria.

44.000 tonnellate (ipotizzando una densità media a 15°C=0,81).

Una quantità di tal genere è da considerarsi, più che un inquinamento della falda e del terreno che ne è impregnato (in accordo alla stima precedente, il volume di terreno impregnato di olio è di almeno 180.000 m<sup>3</sup>), una vera e propria emergenza ambientale.

Infatti, il materiale oleoso è costituito, per sua natura, da un numero elevato di composti chimici affini nessuno dei quali è presente naturalmente nel terreno o nell'acqua, molti dei quali sono tossici ed alcuni cancerogeni; inoltre, nel suo fluire attraverso il terreno, l'olio scioglie e porta con sé altri composti tossici e cancerogeni, come i PCB, presenti come rifiuti o contaminanti nel terreno stesso; entrambi questi aspetti sono stati confermati dalle analisi effettuate.

Questa massa di olio inoltre non è immobile, ma può diffondersi e migrare, anche in funzione dello scorrimento della falda e delle sue variazioni di livello. La sua mobilità è parzialmente limitata dalle opere di contenimento sinora adottate dall'AGIP Petroli.

È rilevante inoltre notare che la presenza di olio a contatto con l'acqua costituisce una continua fonte di contaminazione dell'acqua stessa: l'olio è infatti molto poco solubile in acqua, tuttavia una parte, e soprattutto i componenti più solubili come il benzene, si scioglie continuamente e diffonde lentamente nell'acqua, migrando dalla superficie agli strati più profondi della falda e muovendosi insieme alla falda stessa. La contami-

nazione dell'acqua, di conseguenza, non può essere evitata in presenza di olio surnatante. Questo è noto dalla teoria e testimoniato da prove sperimentali per il caso in questione: le analisi cromatografiche effettuate sui 5 campioni di acqua preliminari prelevati il 10 luglio 2002 hanno rilevato un'evidente somiglianza tra l'olio "surnatante" e ciò che è stato ritrovato sciolto in acqua. Inoltre, poiché l'olio contiene anche sostanze estremamente tossiche, esso contamina con queste l'acqua: come si accennava, è stato ritrovato sciolto in acqua un composto cancerogeno, il benzo[a]pirene, a una concentrazione superiore a quella prevista dal DM 471/99. La falda, scorrendo, diffonde a sua volta l'inquinamento.

Non solo: i prodotti petroliferi trascinano nella falda altri inquinanti raccolti dal terreno e quasi insolubili in acqua. In uno degli stessi campioni è stato rinvenuto un livello di PCB superiore ai limiti previsti dal DM 471/99.

Della presenza di prodotti petroliferi nelle acque sottostanti lo stabilimento testimoniano anche le relazioni della Società di Servizi eseguite per conto di AGIP Petroli.

È ovvio che la causa principale di questa contaminazione è da attribuirsi, per quanto detto sopra, alla pur scarsa solubilità degli idrocarburi, facilitata dalla presenza di un così esteso strato oleoso; questo rende inutile una completa e minuziosa analisi delle acque sottostanti la raffineria e le zone adiacenti: è infatti naturale che in presenza dello strato oleoso le acque siano sempre contaminate da idrocarburi. Il lavoro analitico è stato

quindi impostato fondamentalmente alla individuazione delle cause dell'inquinamento e alla ricerca delle sostanze cancerogene nell'olio.

Va infine fatto notare che la presenza di una quantità di olio come quella rinvenuta costituisce, oltre che un inquinamento della falda, anche un inquinamento del suolo dato che esso impregna un volume di terreno di valutato in circa 180.000 m<sup>3</sup>. In questo terreno i valori degli idrocarburi, sia pesanti che leggeri, sono sicuramente superiori ai limiti stabiliti per i siti industriali dal DM 471/99.

## CAUSE DELL'INQUINAMENTO

Le analisi cromatografiche degli oli prelevati indicano che essi sono costituiti da prodotti finiti, ossia una miscela di prodotti petroliferi distillati come benzina e gasolio.

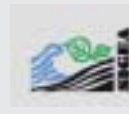
La rilevante quantità di olio presente al di sopra della falda e il suo profilo cromatografico, in alcuni casi estremamente simile ai prodotti attuali, sono fatti che suggeriscono che esso provenga da perdite dai depositi, in corso durante l'indagine degli scriventi. Uno degli aspetti più rilevanti dei risultati delle *analisi di tipizzazione* è che tutto l'olio presente sopra la falda è costituito da prodotti finiti, distillati (benzina, gasolio o una miscela dei due) e che non è presente una componente significativa di petrolio greggio. Il fatto che l'olio abbia diversa tipologia in siti diversi (in alcuni piezometri è quasi esclusivamente benzina, in altri solo gasolio) testimonia del fatto che non è una singola perdita a causare l'accumulo di olio, ma diverse perdite che avvengono in luoghi diversi.

Il fatto infine che l'olio sia costituito da prodotti di raffinazione individua come possibile causa solo la perdita da impianti o serbatoi della raffineria.

A supporto delle precedenti considerazioni si osserva infatti:

- Lo spessore dello strato oleoso è molto ingente nonostante siano in azione, da alcuni anni, una *barriera idraulica* costituita da 6 pompe site in altrettanti pozzi di emungimento all'interno della raffineria e da una *trincea drenante* con una pompa sita in un pozzo (E1) esterno, che asportano parte dello strato oleoso (in particolare la barriera idraulica è costituita da 6 pozzi, di cui RW1, RW2, RW3 realizzati prima del febbraio 2000 e RW4, RW5 e RW6 realizzati dopo quella data, mentre la trincea drenante è in funzione dagli anni '70). È quindi logico dedurre che, se le pompe in funzione da anni non sono riuscite ad emungere tutto l'olio, è segno che le perdite sono in atto nel corso dell'indagine degli scriventi.

- Il profilo dello strato oleoso è molto simile in alcuni punti a quello del ga-



	MW42m	MW42v	MW48A	MW48B	MW51	Gasolio
Benz(a)antracene	1485	615	2159	2133	1128	951
Crisene	2422	826	3092	3092	3195	5180
Benzofluoranteni <sup>#</sup>	1100	586	1849	1826	307	571
Benzo(e)pirene	1382	678	3022	2972	583	211
Benzo(a)pirene	799	374	1658	1619	242	261
Indeno(1,2,3-cd)pirene	212	101	499	488	35	59
Dibenz(ah)antracene	43	15	70	67	15	1206
Benzo(ghi)pirelene	2118	1097	5331	5394	209	403
Perilene	142	60	278	272	46	79

<sup>#</sup> Somma di Benzo(b)fluorantene, Benzo(j)fluorantene, Benzo(k)fluorantene

Tab. 4 - Concentrazione degli idrocarburi policiclici aromatici (IPA) negli oli e nel gasolio, in µg/g.

solio in produzione durante l'indagine e ciò conferma che esso sia costituito da materiale prodotto in tempi recenti.

I provvedimenti adottati sono principalmente mirati al contenimento dell'inquinamento, e non al rinvenimento delle perdite e all'eliminazione delle cause. Le misure per il contenimento diverrebbero di minore utilità una volta che si provvedesse all'eliminazione delle cause dell'inquinamento. L'esistenza di opere di contenimento già in opera dagli anni '80 indica che il problema era noto da tempo e che la strategia di intervento si è sempre basata sulla limitazione della diffusione dell'olio nell'ambiente piuttosto che sulla prevenzione e riparazione delle perdite.

Tutti questi elementi indicano da un lato che le cause dell'inquinamento della falda sono le perdite di prodotti della raffineria, dall'altro che le perdite sono ancora in atto. Data la quantità e la varietà del materiale presente nel sottosuolo, è da escludere che la causa sia riconducibile ad una singola perdita; sono invece probabili perdite da vari elementi, soprattutto dai serbatoi contenenti gasolio e benzina.

#### MISURE DI RISANAMENTO E TUTELA

Le misure adottate non possono essere definite di risanamento, poiché non mirano al ripristino delle condizioni precedenti, ma di contenimento, in quanto sostanzialmente tendono a limitare la diffusione dell'inquinamento. Anche in questo la loro efficacia appare attualmente almeno incompleta, in quanto sono stati rinvenuti diversi punti, soprattutto nelle immediate adiacenze della barriera di contenimento, in cui sono presenti strati cospicui di liquido oleoso soprastante la falda (MW52, E1, B31). Difatti è in corso la costruzione di nuove opere sia di prelievo dell'olio surnatante che di contenimento con barriera impermeabile.

Negli elaborati prodotti dalla Società di Servizi per conto dell'AGIP, relativi al piano di caratterizzazione ambientale (ai sensi dell'allegato 4 del DM 471/99), a proposito dell'olio surnatante sulla falda lo si definisce sem-

plicemente come miscela di benzina e gasolio. L'affermazione tende a sminuire il significato della presenza di prodotti petroliferi e soprattutto dei suoi effetti sull'acqua e il suolo con cui è a contatto. Lo dimostriamo con due esempi per acqua e suolo.

Limitandoci, per la matrice acqua, al solo benzene e trascurando tutti gli altri idrocarburi, l'affermazione citata non tiene conto, ad esempio:

- che il limite fissato dal DM 471/99 per il benzene in acqua è 1 µg/l, e che quindi un solo grammo di benzene è in grado di contaminare ai limiti di legge 1.000.000 litri di acqua con cui sia a contatto;

- che la solubilità del benzene in acqua è molto più elevata (circa 1,78 g/l) della maggior parte degli idrocarburi che compongono benzina e gasolio e che con la quantità di benzene che si scioglie in un litro di acqua si possono, per diluizione, inquinare ai limiti di legge altri 1.779.999 litri d'acqua;

- che il benzene è un componente naturale della benzina, tanto che la legislazione italiana ne ha dovuto limitare il contenuto massimo all'1% in volume (legge 4 novembre 1997 n° 413); precedentemente il benzene poteva arrivare fino al 5%; poiché l'olio surnatante è stato correttamente identificato come costituito da gasolio e benzina, è facilmente deducibile che il benzene può essere presente in quantità molto rilevante e può provocare una grossa contaminazione dell'acqua con cui è a contatto.

Dati questi elementi, non è difficile effettuare una stima come quella che segue: valutando la massa di olio presente nel sottosuolo in 54.000 m<sup>3</sup> e ipotizzando un contenuto di benzene nell'olio di 0,01% (stima molto per difetto), nel sottosuolo si troverebbero attualmente almeno 5,4 m<sup>3</sup> di benzene, pari a 4.741 kg, equivalenti a 4.741.000 g, teoricamente in grado di inquinare 4.741.000.000 (4.741 miliardi) litri d'acqua ai limiti di legge; questo volume d'acqua è maggiore di quello che mediamente il fiume Po scarica nell'Adriatico in un intero mese. Questo è ovviamente un calcolo molto approssimato per varie ragioni, quali ad esempio:

- si è trascurato che la presenza di altri idrocarburi può alterare la solubilità del benzene;
- si presuppone una solubilizzazione completa del benzene, per cui occorrono tempi molto lunghi;
- è stata probabilmente sottostimata la quantità di benzene presente.

L'esempio serve comunque a illustrare la portata di possibili conseguenze, che non sono teoriche: è ben nota la capacità del benzene, proprio a causa della sua solubilità, di inquinare le falde acquifere anche a notevole distanza dalla zona di contatto tra la sostanza e l'acqua e l'episodio di contaminazione da benzene di acque potabili nel Comune di Priolo, causato da presenza di idrocarburi surnatanti alla falda, ne porta una testimonianza.

Ad ulteriore riprova, nel corso della presente indagine è stato misurato, nell'acqua del pozzo E1 dove è presente olio surnatante, il valore di 8.310 µg/l di benzene (il limite di legge è 1 µg/l).

Questo senza contare gli altri idrocarburi contenuti nella benzina e nel gasolio.

Per quanto riguarda invece il suo-  
lo, si rileva che il "prodotto in fase libera" impregna come minimo 180.000 m<sup>3</sup> di terreno e quindi questo ne contiene quantità dell'ordine delle centinaia di grammi per Kg, superando ampiamente i limiti per gli idrocarburi nel terreno previsti dal DM 471/99 cancerogeni [benzene, benzo(a)pirene, benzo(a)antracene].

Infine, tutte le opere di contenimento messe in opera e quelle in fase di attuazione sono mirate al contenimento degli effetti causati principalmente dalla presenza di prodotti petroliferi nel suolo.

Non sembra però che siano stati messi in atto efficaci misure per recuperare i prodotti liquidi presenti nel suolo, né che siano state individuate le fonti delle perdite. Di conseguenza le perdite non sono state eliminate.

Si ringrazia il dr. geol. Giorgio Cardinali per aver collaborato con gli scriventi in merito alla elaborazione informatica dei dati.