



POLITECNICO DI MILANO
DIPARTIMENTO DI
INGEGNERIA IDRAULICA
AMBIENTALE E DEL RILEVAMENTO

ANDIS ASSOCIAZIONE NAZIONALE DI
INGEGNERIA SANTARIA-AMBIENTALE
DELEGAZIONE DI MILANO

TRATTAMENTO E RECUPERO DEI TERRENI CONTAMINATI

XVIII/B - BONIFICA INTEGRATA DI SUOLI ED ACQUE SOTTERRANEE CONTAMINATE DA
IDROCARBURI - PARTE SECONDA: CASI DI SPECIE

I. Bonfà (**)
A. Campioni (*)
S. Di Nauta (**)
M. Samaja (*)

-
- (*) Dott. Andrea CAMPIONI e dott. Mario SAMAJA - Idrogeologi, Project Managers;
Groundwater Technology Italia, S.r.l. - Viale Madonna 6/E, 22063 Cantù -
tel. 031/711786-711841
- (**) Dott. Isidoro BONFA' e dott. Stefano DI NAUTA - Geologi, Groundwater Techno-
logy Italia S.r.l. - Viale Madonna 6/E, 22063 Cantù CO - tel. 031/711786 -
711841; Telefax 031/704053

**BONIFICA INTEGRATA DI SUOLI ED ACQUE SOTTERRANEE CONTAMINATE
DA IDROCARBURI. PARTE SECONDA: CASI DI SPECIE**

I. Bonfà **
A. Campioni *
S. Di Nauta **
M. Samaja *

I n d i c e

1. ABBATTIMENTO DELLE CONCENTRAZIONI DI VAPORI DI BENZINA ALL'INTERNO DI UN CONDOMINIO
 - 1.1 Descrizione del sito e della contaminazione
 - 1.2 Obiettivo dell'intervento
 - 1.3 Indagini conoscitive
 - 1.4 Interventi realizzati. Risultati
2. CONTROLLO E RECUPERO DI IDROCARBURI IN FASE SEPARATA MEDIANTE UN SISTEMA A DUE POMPE
 - 2.1 Descrizione del sito e della contaminazione
 - 2.2 Obiettivi dell'intervento
 - 2.3 Indagini conoscitive
 - 2.4 Installazione del sistema di controllo e recupero
 - 2.5 Risultati
3. BONIFICA INTEGRATA DEI SEDIMENTI DELL'ALVEO DEL RIO BARCA (AL) E DELLE AREE ADIACENTI, CONTAMINATE DA OLIO COMBUSTIBILE FLUIDO
 - 3.1 Il sito e la contaminazione. Obiettivo dell'intervento.
 - 3.2 Lavaggio meccanico dei sedimenti dell'alveo del torrente. Bacini di decantazione
 - 3.3 Biobonifica stimolata in situ dei sedimenti dell'alveo del Rio Barca
 - 3.4 Biobonifica stimolata in pila di trattamento ("on site") dei sedimenti dei bacini di decantazione
 - 3.5 Biobonifica stimolata in situ della zona di rottura dell'oleodotto
 - 3.6 Risultati

* Dott. Andrea CAMPIONI e Dott. Mario SAMAJA - Idrogeologi, Project Managers; Groundwater Technology Italia S.r.l.

** Dott. Isidoro BONFA' e Dott. Stefano DI NAUTA - Geologi; Groundwater Technology Italia, S.r.l.; (V.le Madonna 6/E, Cantù, CO; Tel. 031/711786 - 711841, Telefax 031/704053)

1. ABBATTIMENTO DELLE CONCENTRAZIONI DI VAPORI DI BENZINA ALL'INTERNO DI UN CONDOMINIO

1.1 Descrizione del sito e della contaminazione

Gli idrocarburi presenti nel sottosuolo in fase di vapore possono migrare facilmente; si muovono con velocità ed in direzioni difficilmente prevedibili, e non necessariamente dipendenti dalla direzione di flusso delle acque sotterranee.

Seguendo vie di flusso preferenziali, sia naturali (zone a permeabilità più elevata) che artificiali (manufatti sotterranei, tubazioni, cavidotti, etc.), possono invadere locali interrati quali garages e scantinati, ma anche fognature ed altro. Il loro accumulo in spazi chiusi, o comunque con limitato ricambio d'aria, genera ambienti tossici o addirittura esplosivi.

La contaminazione del sottosuolo da parte di vapori, sebbene generalmente oggetto di scarsa considerazione, e pur costituendo una percentuale modesta del contaminante totale (dal punto di vista della distribuzione di massa), pone spesso i rischi più evidenti ed immediati, e richiede non di rado risposte urgenti ed interventi di emergenza.

Nel caso qui descritto, la contaminazione del sottosuolo è stata provocata dal rilascio accidentale di benzina super da un serbatoio interrato di una stazione di servizio, alla periferia di un grosso centro urbano. Il volume della perdita non è stato quantificato con precisione, ma è stimabile in alcuni m^3 (3 - 5 m^3 , indicativamente).

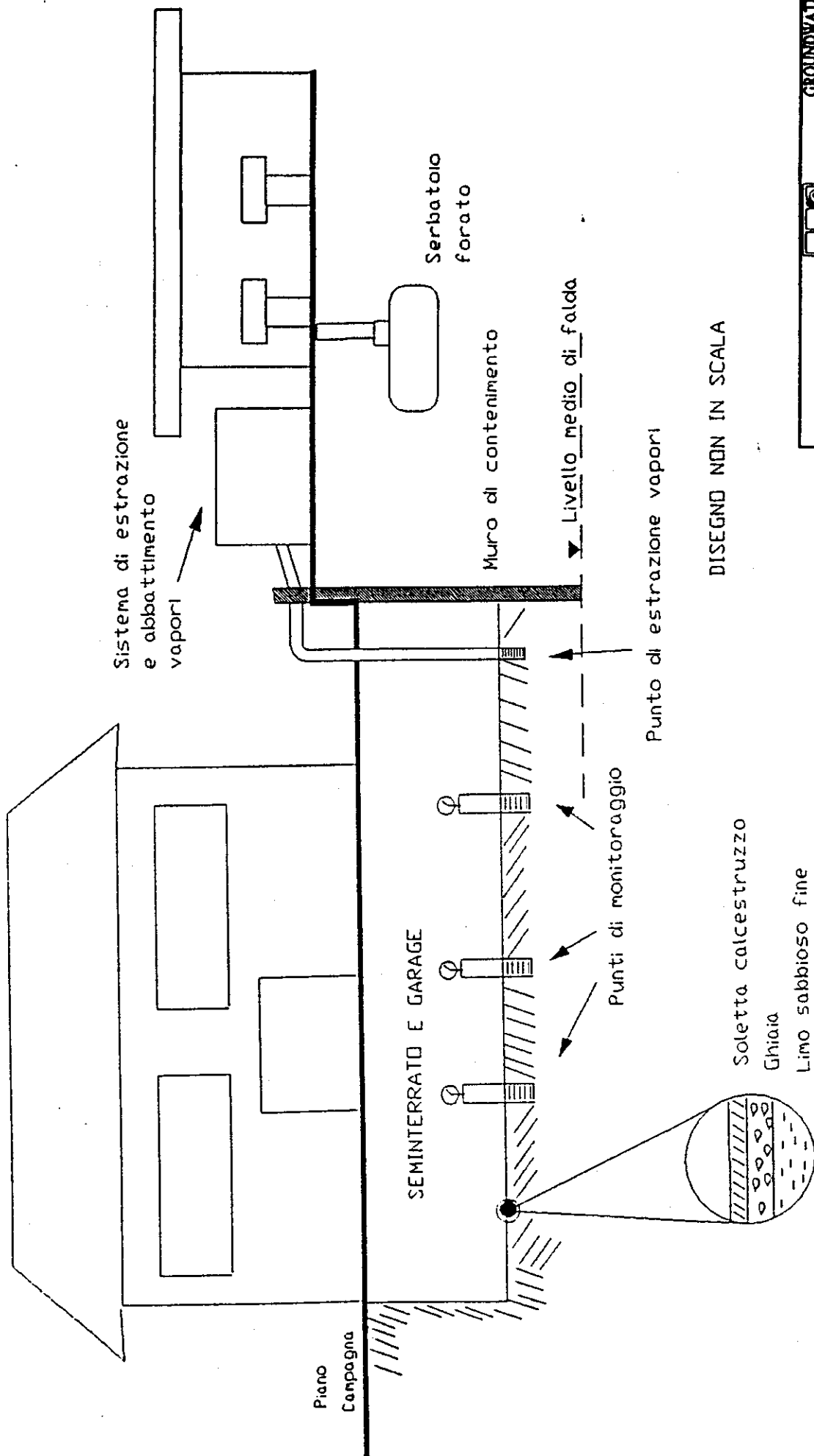
La geologia dell'area è costituita da sedimenti fluviali a granulometria medio-fine, prevalentemente sabbie e limi. Trattandosi di una zona urbanizzata, i livelli più superficiali sono costituiti da materiali di riporto di varia natura.

La superficie freatica si attesta mediamente a 3 m circa dal piano campagna, con oscillazioni stagionali massime ipotizzate di circa ± 1 m.

Il fenomeno di contaminazione in atto si è reso manifesto soltanto a seguito della comparsa di forti odori di benzina in una palazzina di 3 piani, posta a circa 20 m dalla stazione di servizio.

I vapori di benzina penetrano all'interno del condominio attraverso fessure presenti nel pavimento e nelle pareti dei locali interrati (garage, locale caldaia ed alcuni ripostigli, nonché alla base del vano scale), il cui pavimento è posto ad una quota di circa - 2.5 m dal piano campagna della stazione di servizio (cfr. fig. 1). Dai locali interrati i vapori si diffondono nell'intero edificio; il meccanismo di trasporto è costituito dai moti convettivi dell'aria che si instaurano nel vano scale.

SCHEMA CONCETTUALE DI UN SISTEMA DI ESTRAZIONE VAPORI



DISEGNO NON IN SCALA

Soletta calcestruzzo
Ghiaia
Limo sabbioso fine

FIGURA 1

Le concentrazioni di vapori organici totali presenti all'interno dell'edificio prima dell'intervento, misurate direttamente con fotoionizzatore portatile, risultavano essere:

- 10 ppm - 50 ppm: nell'aria ambiente del vano scale e dei locali interrati
- 5 ppm - 20 ppm: nell'aria ambiente di alcuni appartamenti
- 250 ppm - 400 ppm: in corrispondenza di fessure nelle pareti e nel pavimento dei locali interrati

I controlli periodici effettuati successivamente non hanno mai evidenziato concentrazioni tali da generare rischi di esplosione; tuttavia, a causa dell'elevata tossicità dei composti presenti nelle benzine, si è dovuto procedere rapidamente ad un intervento di abbattimento dei vapori presenti.

1.2 Obiettivo dell'intervento

L'intervento realizzato si proponeva come unico obiettivo l'abbattimento delle concentrazioni dei vapori di benzina all'interno dell'edificio interessato.

Si tratta evidentemente di un obiettivo parziale, scelto in base all'esigenza di dare una soluzione urgente al problema specifico della presenza di vapori all'interno di una palazzina sede di abitazioni. Un tale obiettivo non considera in alcun modo la bonifica completa del sito.

Interventi parziali presentano (come già rilevato) alcuni svantaggi; il principale tra questi è costituito dai tempi di esercizio dei sistemi di rimedio parziale che vengono adottati. Non procedendosi alla bonifica totale di un sito, infatti, i contaminanti volatili presenti in fase adsorbita, separata e dissolta continueranno a costituire una fonte di vapori per tempi e con modalità non definibili.

Nel caso in esame, i sistemi installati al fine di risolvere il problema dei vapori all'interno dell'edificio dovranno restare in funzione per tempi indefinibili, e presumibilmente molto lunghi, a meno che non si proceda ad una bonifica completa del sito.

1.3 Indagini conoscitive

Le indagini conoscitive svolte sono state limitate alla definizione dei parametri strettamente necessari per la progettazione del sistema di abbattimento dei vapori, in considerazione della specificità dell'obiettivo prefissato.

Sono stati perforati 3 pozzi di monitoraggio ad una profondità di 5 m circa, ubicati tra il serbatoio da cui si è avuta la perdita accidentale e l'edificio interessato dai vapori. I pozzi hanno permesso di avere una conoscenza delle

caratteristiche litologiche, granulometriche ed idrauliche della porzione più superficiale del sottosuolo, e di rilevare periodicamente il livello di falda nell'area in esame.

Durante le perforazioni si è riscontrata presenza di benzina in fase adsorbita dai 2,5 m ai 4 m di profondità circa. Dopo il completamento dei pozzi si è rilevato un esiguo spessore di benzina in fase separata (circa 3 mm) in galleggiamento all'interno dei pozzi stessi.

Si è quindi condotto un Soil Vent Test (prova di ventilazione del suolo), utilizzando uno dei pozzi come punto di estrazione vapori. La prova non ha dato alcun esito all'interno dei locali interrati della palazzina. Ciò è imputabile alla presenza di un muro di contenimento, situato tra la stazione di servizio e la palazzina, le cui fondazioni si spingono sino ad una profondità di circa 4 m dal piano campagna (fig. 1). Il muro separa due distinti domini di circolazione sotterranea dell'aria nel terreno, impedendo così il richiamo di vapori dalla zona delle fondazioni della palazzina.

L'afflusso di vapori verso la palazzina si verifica secondo le due seguenti modalità:

- in concomitanza con i livelli minimi stagionali della falda, che scendendo al di sotto della base del muro, permetterebbe il flusso dei vapori dalla zona della stazione di servizio verso la palazzina
- dal prodotto in fase libera e/o adsorbita eventualmente presente al di sotto della palazzina; tale prodotto avrebbe anch'esso superato l'ostacolo rappresentato dal muro in concomitanza con i livelli minimi della superficie di falda

1.4 Interventi realizzati. Risultati

Il Soil Vent Test (prova di ventilazione del suolo) condotto ha evidenziato l'impossibilità di ridurre l'afflusso di vapori dal sottosuolo alla palazzina con punti di estrazione vapori ubicati nell'area della stazione di servizio, o comunque all'esterno dell'edificio.

Si è perciò installato un sistema di ventilazione del suolo (Soil Venting System o Soil Vapor Extraction System) all'interno dei locali interrati della palazzina stessa. Attraverso il pavimento del garage e di uno scantinato si sono perforati 1 punto di estrazione vapori e 3 punti di monitoraggio delle pressioni.

Applicando una depressione al punto di estrazione, si induce una zona di influenza al di sotto dell'intera palazzina (1,5 mbar a 3 m dal punto di estrazione, e 0,5 mbar a 13 m, misurati nei punti di monitoraggio all'uopo installati).

La zona a bassa pressione così indotta al di sotto dell'edificio mantiene un flusso d'aria diretto costantemente dal sottosuolo al punto di ventilazione, impedendo l'afflusso di vapori di benzina dal terreno all'edificio.

Dopo 2 ore dall'avviamento del sistema, le concentrazioni di vapori all'interno dell'edificio risultavano ridotte al di

sotto dei limiti di rilevabilità degli strumenti (< 1 ppm). Le concentrazioni in uscita dal sistema di ventilazione (prima del trattamento con filtri a carboni attivi) risultano assai elevate, mantenendosi intorno alle 400 - 500 ppm.

2. CONTROLLO E RECUPERO DI IDROCARBURI IN FASE SEPARATA MEDIANTE UN SISTEMA A DUE POMPE

2.1 Descrizione del sito e della contaminazione

L'area contaminata di interesse è ubicata in corrispondenza di un deposito di idrocarburi (fig. 2), nella piana alluvionale di un corso d'acqua di media portata (circa 300 l/s).

Le attività dell'impianto comprendono lo stoccaggio e la movimentazione, tramite autobotti, di prodotti petroliferi; l'età del deposito è di oltre 20 anni.

La geologia dell'area presenta una unità con litotipi sabbioso-limosi, con marcate eterogeneità in senso orizzontale, estesa dal piano campagna sino alla profondità di 10 - 13 m circa. Tale unità poggia su sedimenti argilloso-limosi compatti.

La superficie freatica è compresa tra 4 e 5 m circa di profondità dalla superficie del suolo; il gradiente medio nell'area è del 1,8% e le direzioni di flusso sono all'incirca ortogonali all'asse fluviale. La permeabilità, calcolata con prove sui pozzi di monitoraggio, presenta valori nell'ordine di 10^{-4} cm/sec.

La presenza di idrocarburi nel sottosuolo si è manifestata con fuoriuscita di evidenti iridescenze lungo un tratto di circa 20 m di una riva del vicino corso d'acqua.

2.2 Obiettivi dell'intervento

- Obiettivi prefissati dell'intervento erano:
- l'individuazione della zona primaria di spandimento
 - il controllo della migrazione dell'idrocarburo verso il corso d'acqua, l'eliminazione (o quanto meno la riduzione) degli afflussi di prodotto al corso d'acqua stesso, ed il recupero (se fattibile) del contaminante in fase separata.

CARTA DELLE ISOFREATICHE IN CONDIZIONI STATICHE

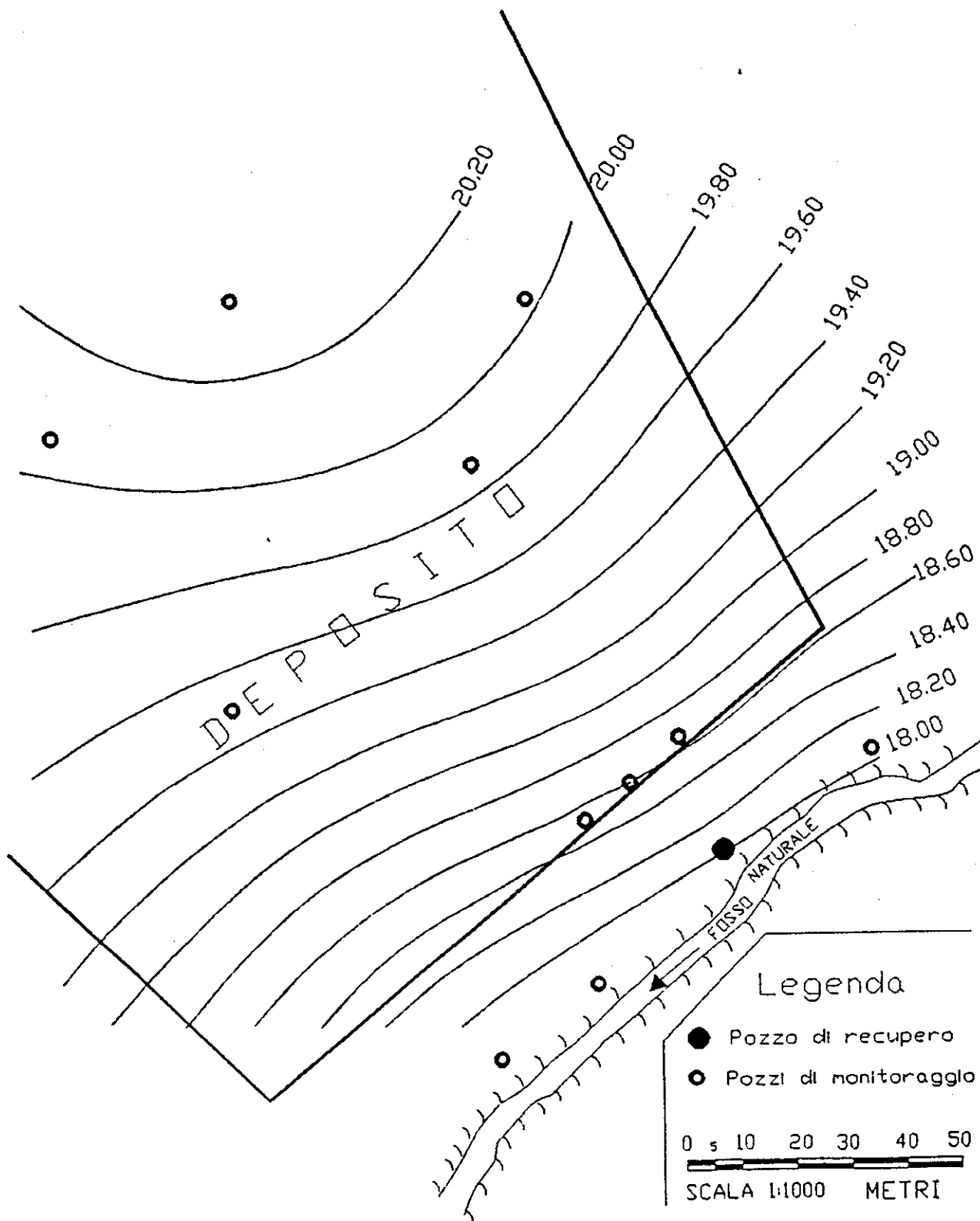


FIGURA 2



2.3 Indagini conoscitive

Le indagini conoscitive sono state condotte in due fasi successive:

- Soil Gas Survey
- Pozzi di monitoraggio

Il Soil Gas Survey (rilievo delle concentrazioni dei vapori organici nella zona non satura del sottosuolo) ha portato ad evidenziare una zona a concentrazioni relativamente più elevate, permettendo così di pianificare ed indirizzare al meglio le successive indagini.

L'installazione dei pozzi di monitoraggio, effettuata in base ai dati raccolti con il Soil Gas Survey, ha permesso di ricostruire in sufficiente dettaglio le caratteristiche geologiche ed idrogeologiche dell'area di interesse, sino a profondità di 10 - 15 m circa.

Sui pozzi sono quindi state condotte prove di emungimento a portata costante, prove di permeabilità a carico variabile (Slug Extraction Tests), e prove di ricarica sul prodotto in fase separata (Product Baildown Tests).

Durante le perforazioni si è rilevata presenza di idrocarburi in fase adsorbita in tutta l'area di indagine. Soltanto in un unico pozzo in prossimità del corso d'acqua si è riscontrata presenza di prodotto in fase separata, con spessore reale di circa 7 cm.

2.4 Installazione del sistema di controllo e recupero

Sulla base dei risultati acquisiti nel corso delle indagini conoscitive, è stato perforato un pozzo di recupero in prossimità del corso d'acqua, nella zona in cui si è riscontrata presenza di prodotto in fase separata.

Nel pozzo è stato installato un sistema di controllo e recupero a due pompe (fig. 3):

- una pompa sommersa, per il pompaggio dell'acqua di falda
- una pompa selettiva galleggiante ("Filter ScavengerTM") per il recupero automatizzato dell'idrocarburo in fase separata in galleggiamento in pozzo

Il "Filter ScavengerTM" è una pompa selettiva galleggiante, in grado di recuperare idrocarburo virtualmente privo d'acqua; il suo funzionamento si basa su uno speciale filtro oleofilo/idrorepellente, che viene attraversato dagli idrocarburi ma non dall'acqua.

2.5 Risultati

Sulla base dei dati raccolti è stato individuato nel sistema fognario dell'impianto il principale agente di

SISTEMA DI RECUPERO A DUE POMPE

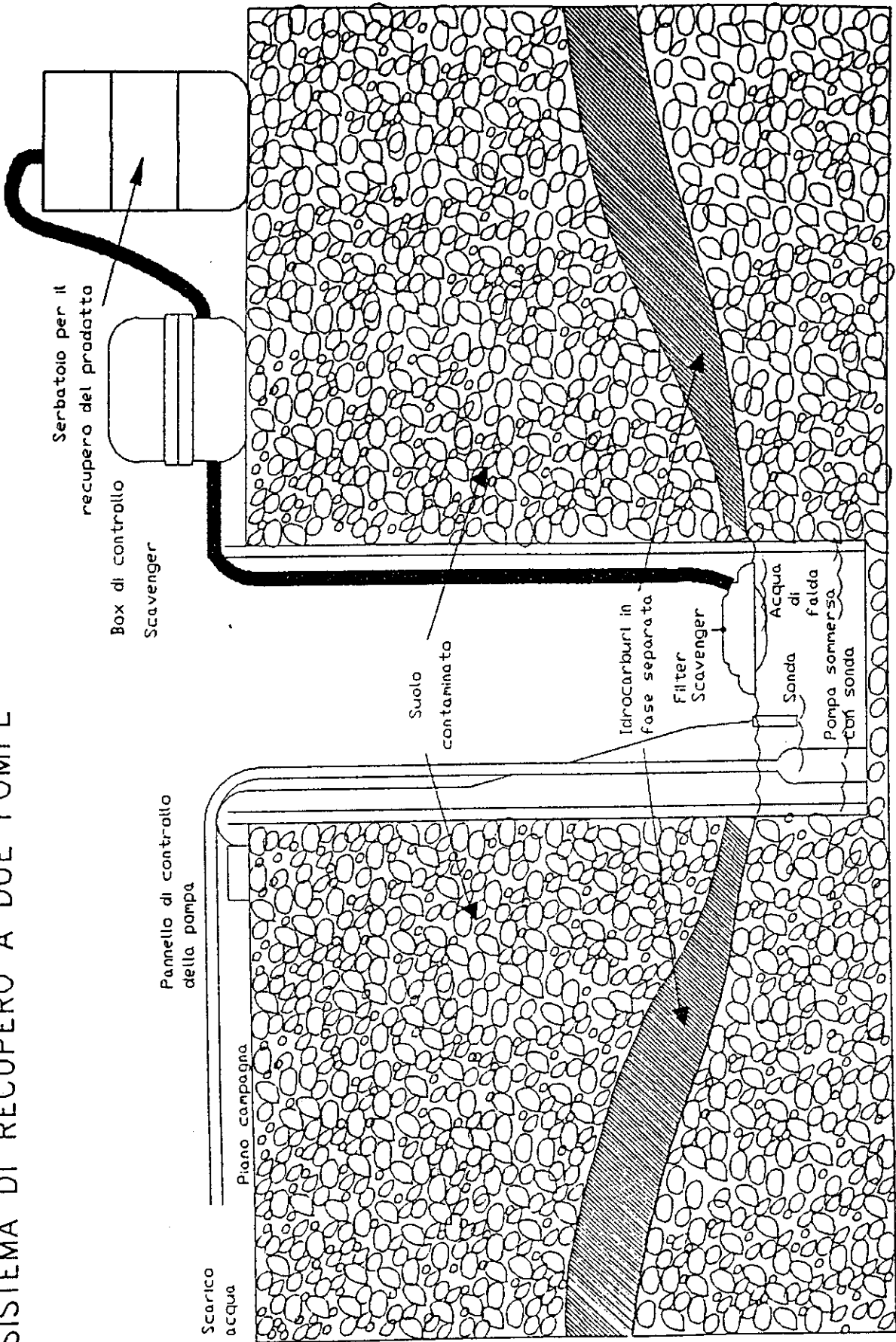


FIGURA 3



trasferimento dei contaminanti alla zona del sottosuolo adiacente al corso d'acqua.

A seguito dell'installazione del sistema di controllo e recupero a due pompe, non si è verificato alcun ulteriore afflusso di idrocarburi al corso d'acqua. Il sistema installato ha perciò permesso di raggiungere anche il secondo degli obiettivi fissati in partenza, impedendo ulteriori afflussi di prodotto in fiume.

3. BONIFICA INTEGRATA DEI SEDIMENTI DELL'ALVEO DEL RIO BARCA (AL) E DELLE AREE ADIACENTI, CONTAMINATE DA OLIO COMBUSTIBILE FLUIDO

3.1 Il sito e la contaminazione. Obiettivo dell'intervento.

Il Rio Barca è un torrente montano a regime periodico, situato all'estremità meridionale della Provincia di Alessandria. La rottura di un oleodotto, avvenuta in corrispondenza di un ripido versante in prossimità della riva sinistra idrografica del Rio, ha provocato la contaminazione con olio combustibile fluido di un tratto dell'alveo del torrente lungo alcune centinaia di metri (fig. 4).

La rottura è avvenuta in un periodo in cui il torrente era totalmente asciutto, permettendo in tal modo che l'olio penetrasse nei sedimenti dell'alveo saturandoli pressochè totalmente. La contaminazione ha interessato inoltre la coltre di sedimenti detritici del versante collinare su cui è avvenuta la rottura.

Il volume totale di idrocarburi fuoriusciti è stimabile in alcune decine di m³.

Obiettivo dell'intervento era la bonifica in situ dell'intera area interessata dalla contaminazione. La bonifica in situ si rendeva necessaria in considerazione dell'impossibilità di rimuovere, smaltire e ripristinare gli ingenti volumi di suolo contaminato.

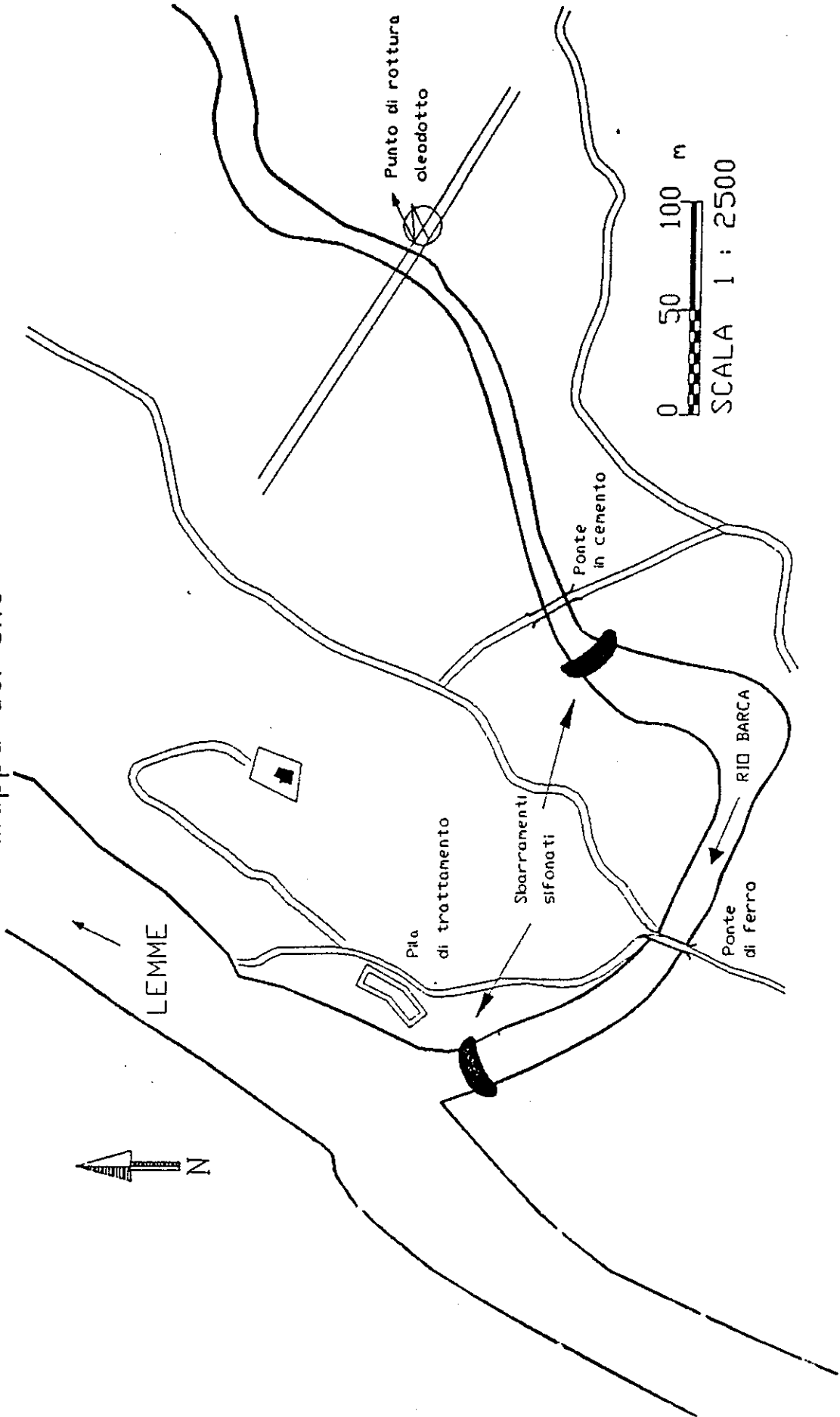
La complessità del fenomeno di contaminazione ha richiesto un intervento integrato, con applicazione di diverse tecniche di bonifica, ciascuna mirata alla soluzione di un aspetto specifico del problema. Soluzioni diverse sono state adottate per l'alveo del torrente, per il versante su cui è avvenuta la rottura, e per i sedimenti raccolti dai bacini di decantazione.

3.2 Lavaggio meccanico dei sedimenti dell'alveo del torrente. Bacini di decantazione.

I sedimenti dell'alveo del Rio Barca risultavano pressochè saturi d'olio in molte aree comprese tra la zona di rottura dell'oleodotto e la confluenza del Rio Barca nel torrente Lemme. Il tratto interessato dalla contaminazione ha una lunghezza complessiva di 600 m circa.

BONIFICA INTEGRATA DELLA ZONA DEL RIO BARCA (VOLTAGGIO - AL)

Mappa del sito



Per consentire l'efficace applicazione della biobonifica stimolata in situ, si è reso necessario in primo luogo ridurre quanto più possibile le elevatissime concentrazioni di idrocarburi presenti.

Tale riduzione è stata ottenuta effettuando il lavaggio meccanico dei sedimenti dell'alveo del torrente. Lungo l'intero tratto interessato dalla contaminazione si sono smossi e rimescolati i sedimenti utilizzando un escavatore; una percentuale considerevole del prodotto presente è stata dilavata dalle acque stesse del Rio Barca. Una serie di bacini di decantazione e di barriere sifonate ha permesso di contenere gli idrocarburi in fase separata ed i sedimenti medio-fini liberati dal lavaggio meccanico.

L'idrocarburo in fase separata in galleggiamento sui bacini di decantazione è stato recuperato utilizzando pompe selettive galleggianti ("skimmers").

I bacini hanno portato all'accumulo di alcune decine di m³ di sedimenti medio-fini, con presenza di considerevoli quantità di idrocarburi adsorbiti alle particelle di terreno. Tali sedimenti sono stati successivamente rimossi dai bacini e trattati biologicamente "on site" (par. 3.4).

3.3 Biobonifica stimolata in situ dei sedimenti dell'alveo del Rio Barca

Gli idrocarburi accidentalmente immessi nel terreno vengono degradati da una parte dei microorganismi presenti naturalmente nel suolo; in condizioni naturali il processo è però generalmente molto lento.

La biobonifica stimolata in situ consiste nel accelerare il processo naturale, fornendo ai microorganismi utilizzatori di idrocarburi ossigeno e altri elementi necessari al loro sviluppo (miscele calibrate di nutrienti).

L'efficacia della biobonifica stimolata è scarsa in terreni completamente saturi di idrocarburi, o comunque in presenza di prodotto in fase separata. Nel caso in esame, si è ricorso al lavaggio meccanico dei sedimenti, al fine di ridurre le concentrazioni presenti prima di avviare il programma di biodegradazione naturale stimolata.

Il programma di biobonifica è accompagnato da un programma di monitoraggio periodico delle concentrazioni di idrocarburi nell'alveo, con prelievo ed analisi di campioni in diversi punti del Rio Barca. Si conduce parallelamente il monitoraggio periodico dei batteri utilizzatori di idrocarburi.

3.4 Biobonifica stimolata in pila di trattamento ("on site") dei sedimenti dei bacini di decantazione.

Il lavaggio meccanico dei sedimenti dell'alveo ha provocato la mobilizzazione di materiali a granulometria medio-fine (sabbie, limi e argille) e la loro risedimentazione nei bacini di decantazione. Questi sedimenti medio-fini, contaminati da idrocarburi in fase adsorbita aderenti alle particelle di terreno, sono in corso di trattamento biologico "on site".

Il metodo si basa su principi del tutto analoghi a quelli della biobonifica naturale stimolata *in situ*, con la differenza che in questo caso il materiale viene rimosso ed accumulato in apposite pile di trattamento.

Lo schema generale delle pile di trattamento è riportato in fig. 5.

Anche nel caso delle pile di trattamento, un programma di monitoraggio ed analisi dei suoli deve accompagnare la biobonifica.

3.5 Biobonifica stimolata in situ della zona di rottura dell'oleodotto

La rottura dell'oleodotto è avvenuta su un versante collinare piuttosto ripido, in riva sinistra idrografica del Rio Barca. La zona compresa tra il punto di rottura e l'alveo del torrente è contaminata da idrocarburi in fase adsorbita, e localmente in fase separata.

Il pendio contaminato è costituito da detriti di versante, poggianti su un substrato di scisti piuttosto alterati. L'intero versante è instabile, con superfici di scorrimento identificate a diverse profondità. All'interno della coltre detritica vi è una falda freatica di ridotto spessore, la cui superficie si trova mediamente a 2 - 4 m di profondità dalla superficie del suolo.

Le caratteristiche granulometriche ed idrauliche dell'unità superficiale detritica sono estremamente eterogenee; di conseguenza, la distribuzione del contaminante all'interno di tale unità risulta assai disomogenea, con zone sature di prodotto, zone a basse concentrazioni e zone praticamente non interessate dalla contaminazione.

L'instabilità del versante impedisce la rimozione del terreno contaminato, portando ad applicare tecniche di biobonifica stimolata *in situ* anche nella zona di rottura dell'oleodotto.

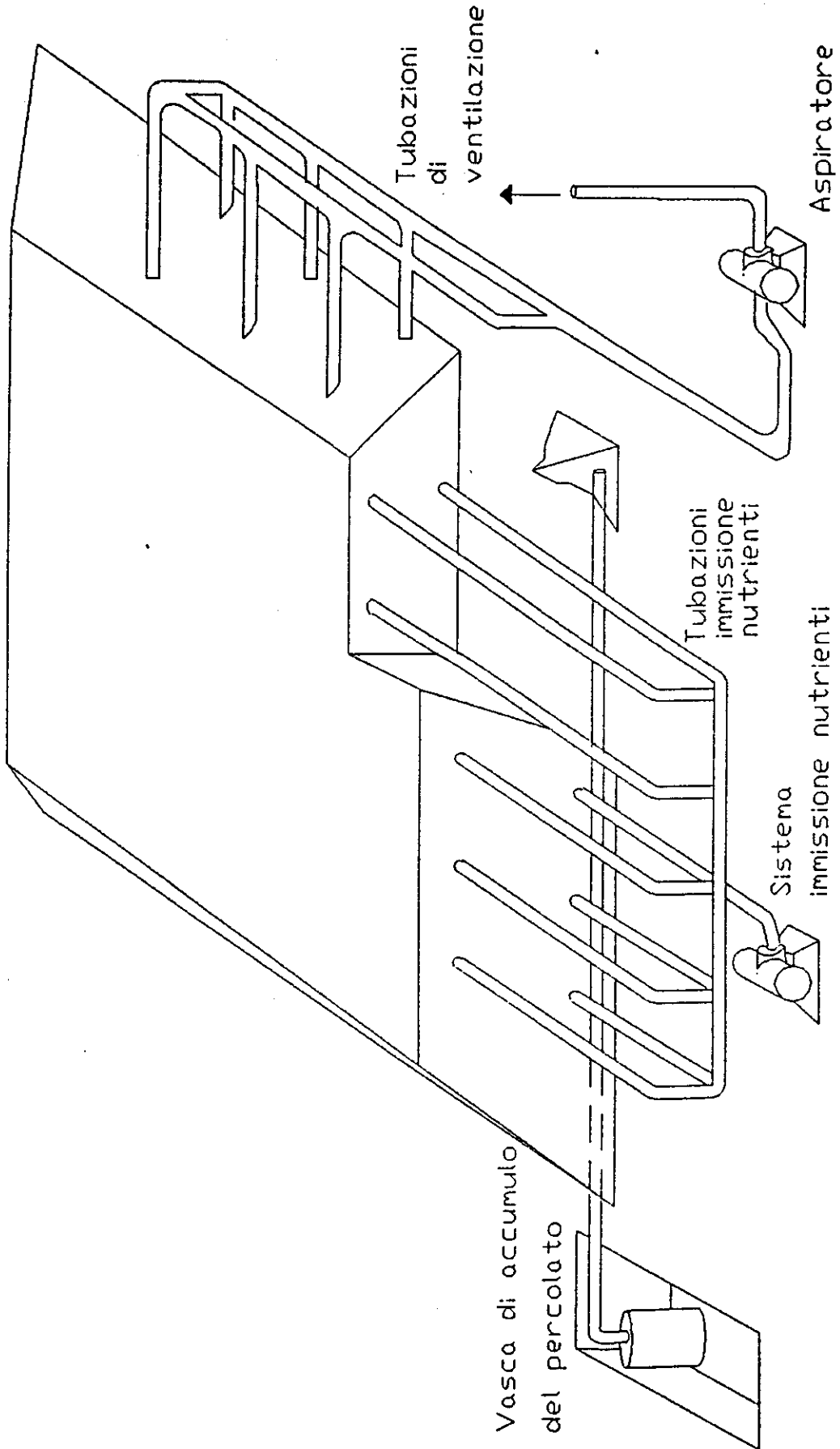
Al contrario di quanto avviene per l'alveo del torrente, si interviene in questo caso principalmente su terreno contaminato non saturo, con installazione di un sistema di ventilazione. La parte satura del terreno da trattare ha invece richiesto l'installazione di un sistema di immissione d'aria.

La distribuzione disomogenea degli idrocarburi, la



FIGURA 5

BIOBONIFICA STIMOLATA "ON SITE"
SCHEMA CONCETTUALE DI UNA PILA DI TRATTAMENTO



presenza di zone o sacche a concentrazioni assai elevate o con presenza di prodotto libero e le limitazioni derivanti dalla situazione di instabilità meccanica del pendio rendono assai lento il processo di biobonifica nella zona di rottura dell'oleodotto.

3.6 Risultati

L'intervento di bonifica integrata è tuttora in corso. I risultati complessivi sino ad oggi raggiunti sono largamente soddisfacenti, sebbene si riscontrino differenze da punto a punto.

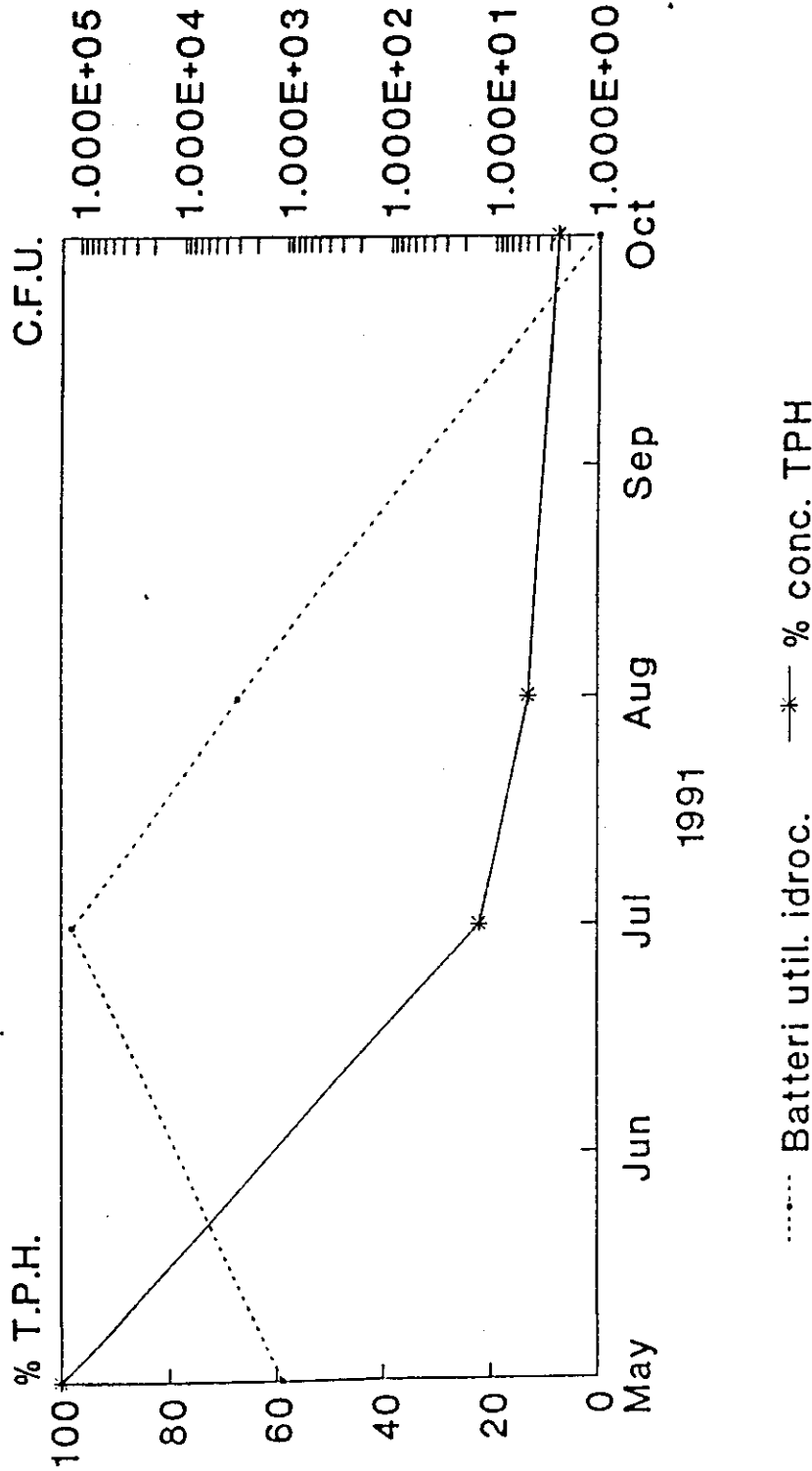
Per quanto riguarda i sedimenti dell'alveo del Rio Barca, il processo di bonifica può considerarsi pressochè ultimato. Il grafico di Fig. 6 riporta la diminuzione percentuale delle concentrazioni di idrocarburi totali, considerando 100 % la concentrazione media all'inizio dell'intervento. I valori sono mediati su campioni prelevati periodicamente in 15 punti di monitoraggio lungo l'alveo del fiume. La diminuzione di tali concentrazioni nella parte iniziale della curva (mese di Maggio) va attribuita principalmente alle operazioni di lavaggio meccanico; da Giugno ad Ottobre la diminuzione delle concentrazioni riflette invece l'andamento della biobonifica stimolata *in situ*. Sulla quasi totalità del tratto interessato dalla contaminazione, le concentrazioni di idrocarburi totali riscontrate in Ottobre risultavano inferiori al 5 % di quelle iniziali. I batteri utilizzatori di idrocarburi raggiungono il massimo nel mese di Luglio, e decrescono quindi sino ad Ottobre. Tale diminuzione è legata alla progressiva degradazione dell'idrocarburo, e nel mese di Ottobre anche al dilavamento dato dalle piene del Rio e all'abbassamento della temperatura. Gli effetti del processo di biodegradazione stimolata non si risentono comunque in modo omogeneo sull'intero alveo del fiume. Alcuni punti di prelievo rivelano il persistere di concentrazioni medio-elevate: si tratta di limitate zone ad andamento lenticolare, a permeabilità minore rispetto ai sedimenti circostanti, all'interno delle quali il trasporto di ossigeno e nutrienti avviene lentamente.

Per quanto riguarda la pila di trattamento biologico "on site", la degradazione procede con minor velocità, principalmente a causa della granulometria fine dei materiali. Un periodo di 8 mesi di trattamento in pila (comprendente i mesi invernali) ha portato un abbattimento medio del 51 % rispetto alle concentrazioni iniziali.

Il sistema di biobonifica installato nella zona del punto di rottura dell'oleodotto è entrato in funzione nel mese di settembre, all'inizio della stagione fredda. Il breve tempo trascorso dall'inizio del trattamento non permette ancora di elaborare dei valori medi di riduzione delle concentrazioni. Si registrano abbattimenti assai variabili da punto a punto, con punte massime del 72 % rispetto alle concentrazioni iniziali.

BIOBONIFICA ALVEO RIO BARCA (AL)

Concentrazioni di idrocarburi totali e di batteri utilizzatori di idrocarburi



Nota:
 T.P.H. - Total Petroleum Hydrocarbons
 C.F.U. - Colony Forming Units



FIGURA 6