

19. - ESEMPI DI INQUINAMENTO CONCENTRATO DELLE ACQUE SOTTERRANEE PUGLIESI INFLUENZATO DA ATTIVITÀ INDUSTRIALI ALLA SUPERFICIE

19.1. - INTRODUZIONE

Nel presente capitolo vengono illustrati alcuni casi di inquinamento delle acque sotterranee, determinato talora in Puglia da attività industriali. L'argomento s'inquadra in quello di attuale interesse nazionale, per la frequente presenza di siti contaminati da attività industriali, malgrado talora dismesse, richiedenti complessi e costosi interventi di bonifica per la riduzione del rischio sanitario e, più in generale, per la riqualificazione ambientale del sottosuolo.

In particolare, limitando l'argomento ad alcuni esempi particolareggiati, le aree che qui si trattano sono presenti in corrispondenza degli impianti dismessi EniChem Agricoltura di Manfredonia, Fibronit e Gasometro di Bari e del Sito Contaminato di Interesse Nazionale (SIN) di Brindisi.

Per ciascun caso vengono forniti alcuni cenni storici sulle attività svolte e quindi sui tipi di inquinanti coinvolti. Vengono poi esaminati, con maggior dettaglio, i dati di indagini già eseguite al riguardo, ritenute rappresentative e utili al fine di fornire un'adeguata interpretazione del tipo e della entità della contaminazione osservata nelle acque sotterranee, correlate alle locali condizioni geostruturali e idrogeologiche delle porzioni di acquiferi interessati.

19.2. - IL CASO ENICHEM AGRICOLTURA DI MANFREDONIA

Lo stabilimento EniChem era ubicato in località Macchia di Monte S. Angelo, a circa 1,2 km da Manfredonia e 15 km da Monte S. Angelo (fig. 19.1). Esso ricopriva una superficie di circa 130 Ha, suddivisa in aree denominate "isole" (fig. 19.2). Lo stabilimento produceva fertilizzanti (urea), caprolattame per la produzione di fibre artificiali e tecnopolimeri (nylon 6,6) ed intermedi aromatici (benzaldeide ed acido benzoico). La produzione comportava la trasformazione di una serie di ma-

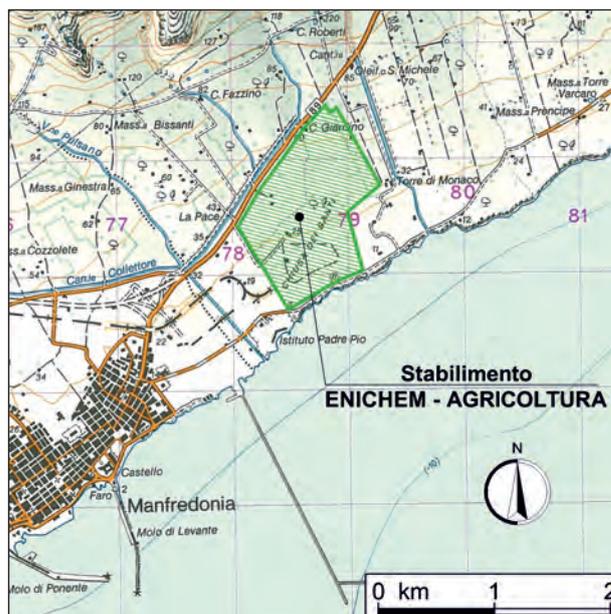


Fig. 19.1 - Planimetria con ubicazione dello Stabilimento EniChem-Agricoltura.
- Map of the EniChem fertilizer factory.

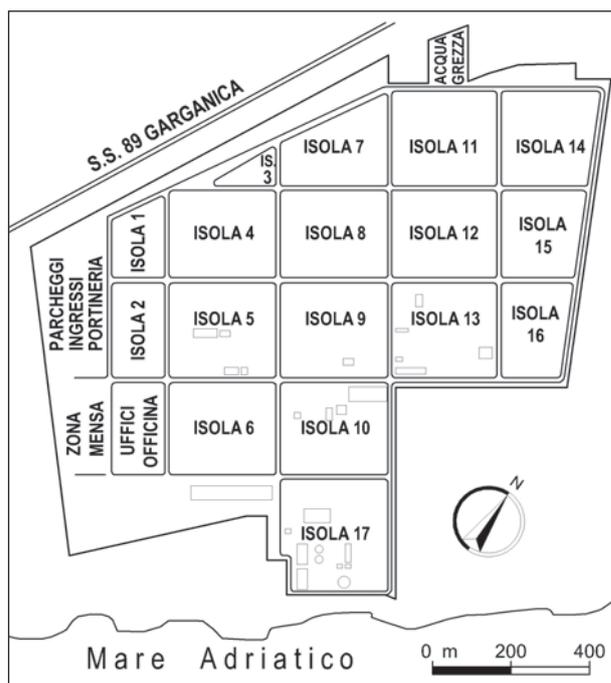


Fig. 19.2 - Planimetria dello Stabilimento EniChem-Agricoltura con suddivisione in "isole".
- Map of the EniChem fertilizer factory (subdivided into blocks).

terie prime nei prodotti finali, da stoccare in attesa di spedizione (COTECCHIA, 1996).

Nel 1995, conseguentemente alla liquidazione della società "EniChem Agricoltura S.p.A.", la produzione fu arrestata e gli impianti furono di-

smessi, lasciando così in funzione la sola centrale termica, atta al riscaldamento di alcuni apparati dell'impianto di depurazione delle acque di scarico e meteoriche. Tutti gli impianti, infatti, erano dotati di sistemi di trattamento dei fluidi potenzialmente inquinanti, prevedendo anche unità di recupero, segregazione e controllo, così da permettere o il riutilizzo degli scarichi nel processo di lavorazione o il pre-trattamento prima dell'invio all'impianto di depurazione delle acque di scarico (TAS), idoneo a ridurre il carico inquinante ai limiti di legge.

All'interno dello stabilimento erano presenti anche delle discariche, la cui tipologia era dipendente dal tipo di rifiuti da smaltire. In particolare, si trattava di discariche di II categoria per rifiuti inerti (tipo A), per rifiuti speciali (tipo B) e per rifiuti tossico-nocivi (tipo C). La diversa tipologia di rifiuti era legata all'esercizio degli impianti di:

- fabbricazione di caprolattame ed acido benzoico da toluolo;
- purificazione del caprolattame grezzo;
- produzione dell'acido solforico;
- produzione dell'ammoniaca liquida.

Venivano inoltre smaltiti i fanghi di depurazione degli impianti di trattamento delle acque di scarico.

19.2.1. - *Inquadramento geologico ed idrogeologico dell'area*

L'area interessata dallo stabilimento EniChem si affaccia sul Golfo di Manfredonia, fra le quote 20 e 60 m s.l.m. Numerose furono le indagini condotte in tale area, commissionate dalla società in fase di liquidazione e finalizzate alla caratterizzazione ambientale del sito, all'individuazione del suo stato d'inquinamento alla scelta degli indirizzi per la bonifica dell'area e dell'acquifero sottostante. Delle svariate indagini eseguite fecero anche parte una serie di sondaggi mirati a ricavare una dettagliata ricostruzione litostratigrafica dei terreni su cui sorgeva lo stabilimento. Con tali sondaggi geognostici furono individuati, dal basso verso l'alto: calcari di tipo "Craie" (Senoniano) di origine in parte detritica ed in parte organogena, di colore biancastro e con bassi valori di consistenza ("teneri"); brecce calcaree (Pleistocene inferiore), a matrice sabbioso-limosa, presenti a luoghi, caratterizzate da uno

spessore variabile da 0 a 15 m circa; conglomerati ad elementi calcarei, immersi in matrice essenzialmente sabbiosa a scarso grado di cementazione, caratterizzati da uno spessore variabile da 6 a 26 m circa (Pleistocene superiore-Olocene).

Durante l'esecuzione delle indagini fu rilevata l'assenza di falde idriche superficiali nei terreni di copertura, caratterizzati in genere da un'elevata percentuale di frazione sabbioso-limosa e bassa permeabilità. I calcari mesozoici di base presentano invece una permeabilità variabile in relazione allo stato di fratturazione e al carsismo. In particolare, essi si presentano in alcuni casi compatti.

I calcari del Mesozoico sono sede di una estesa falda idrica circolante in pressione al di sotto del livello del mare e sostenuta alla base dall'acqua di mare di invasione continentale. Le prove di emungimento eseguite hanno evidenziato notevoli depressioni idrodinamiche anche in corrispondenza di basse portate (2÷3 l/s), ad indicare una generale bassa permeabilità, la quale comunque presenta bruschi aumenti locali legati alla fratturazione e alla presenza di forme carsiche ipogee, come nel caso di alcune cavità rinvenute ad Est dello stabilimento.

19.2.2. - *Analisi chimiche condotte su campioni di terreno nell'area EniChem*

L'area dello stabilimento EniChem fu oggetto, negli anni Novanta, di indagini per la valutazione dello stato di contaminazione dei terreni ai sensi del DPR 915/82. Furono analizzati campioni di terreno prelevati a profondità massima di 5 m, dunque rappresentativi dello stato di inquinamento della sola porzione epidermica del sottosuolo.

Nei campioni prelevati fu riscontrata la presenza di metalli pesanti quali cadmio (Cd), cobalto (Co), cromo (Cr), manganese (Mn), nichel (Ni), piombo (Pb), zinco (Zn), arsenico (As) e mercurio (Hg). Per quasi tutte le sostanze, le concentrazioni rilevate non superavano i valori limite imposti dal D.P.R. 915/82, eccezione fatta per il Mn, per il quale furono registrati valori molto elevati in alcune zone (fig. 19.3), e per l'As, per il quale in alcune zone i valori risultavano superiori a 100 mg/kg, che è il limite imposto dal D.P.R. 915/82 (fig. 19.4).

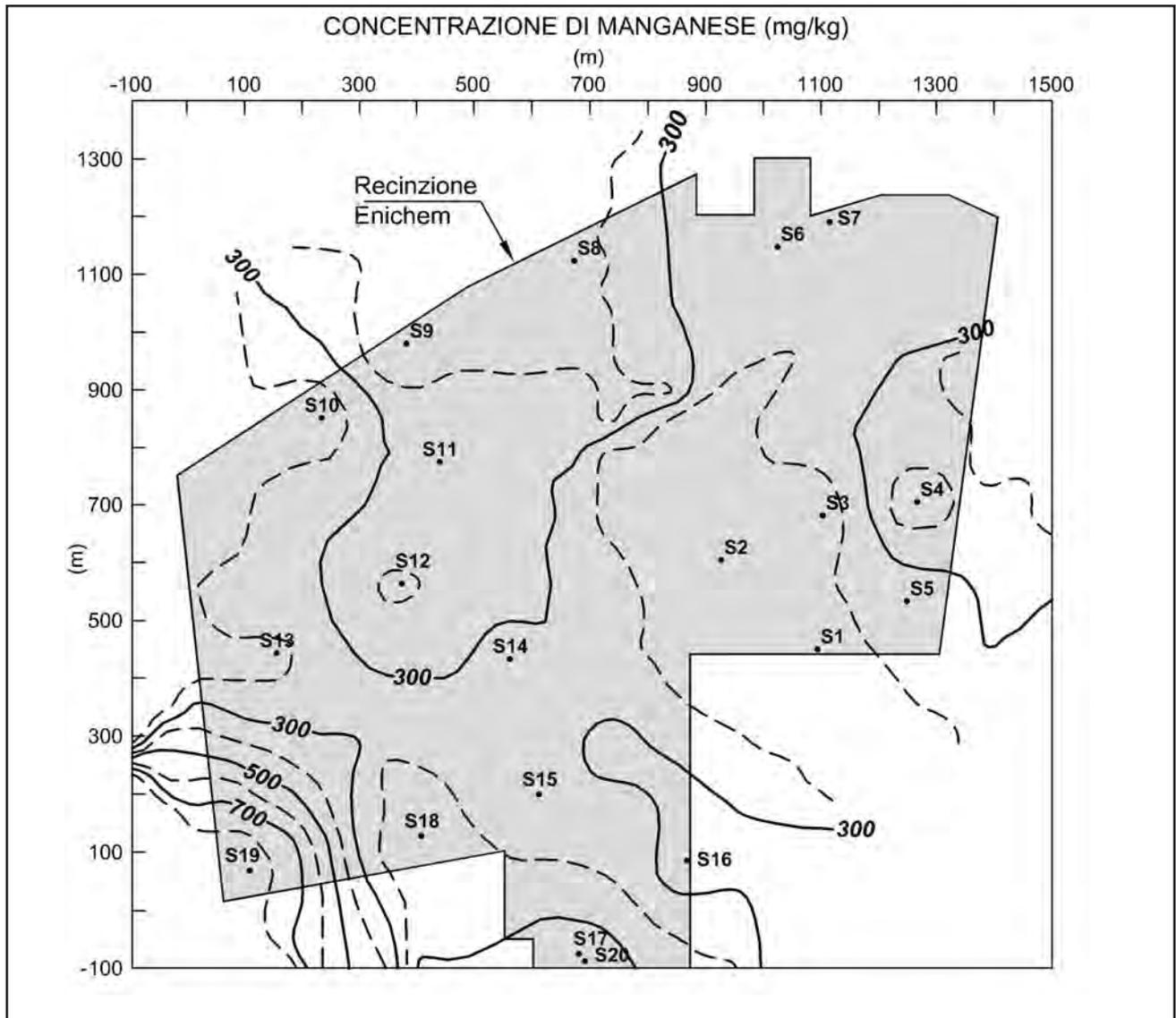


Fig. 19.3 - Curve di iso-concentrazione di Manganese determinate sulla base delle analisi chimiche condotte sui campioni di terreno (1996) nell'area dello Stabilimento EniChem-Agricoltura.

- Iso-concentration curves of Manganese determined from chemical analyses on the soil samples (1996) in the EniChem-Agricultura plant.

Nella zona adibita alla produzione di benzaldeide fu rilevata una situazione complessa e pericolosa con riferimento ai composti aromatici. Le analisi eseguite evidenziarono la presenza di diversi tipi di composti organici, con particolare riferimento a quelli classificabili come IPA (Idrocarburi Policiclici Aromatici) (fig. 19.5).

Il quadro complessivo che emerse dall'analisi dello stato qualitativo dei terreni su cui aveva operato lo stabilimento, indicava l'esistenza di un inquinamento a "macchia di leopardo", che interessava zone alquanto limitate e sparse relativamente alla presenza di prodotti organici, men-

tre l'As sembrava localizzarsi al limite dell'area sita a Sud-Ovest dello stabilimento. Relativamente ai prodotti organici, si ipotizzò che la loro presenza fosse dovuta a sversamenti o ad un improprio stoccaggio di materie prime e/o di rifiuti industriali. Relativamente alle elevate concentrazioni di arsenico, esse furono attribuite alla ricaduta di ossidi di arsenico (As_2O_3) in seguito all'incidente del 1976, nel quale, per esplosione della colonna di assorbimento dell'ammoniaca, furono riversati in atmosfera ingenti quantitativi di questo prodotto.

Va infine osservato che durante l'esecuzione dei

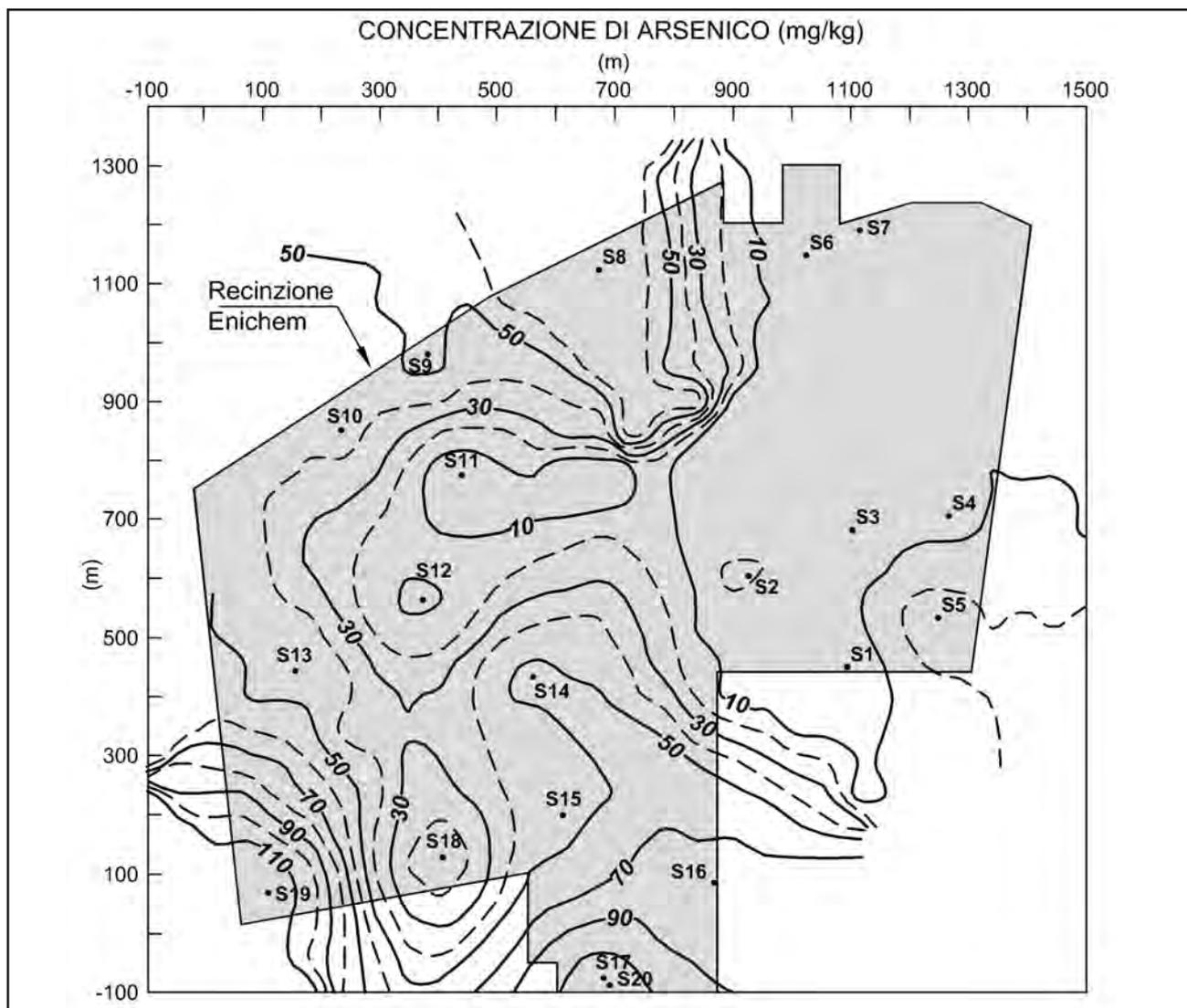


Fig. 19.4 - Curve di iso-concentrazione di Arsenico determinate sulla base delle analisi chimiche condotte sui campioni di terreno (1996) nell'area dello Stabilimento EniChem-Agricoltura.

- Iso-concentration curves of Arsenic determined from chemical analyses on the soil samples (1996) in the EniChem-Agricoltura plant.

sondaggi geognostici interni alle isole 5, 13 e 7, furono notate alcune "anomalie", ed in particolare la presenza di un forte odore di solfuri, proveniente in particolare dai calcari, di certo attribuibile a processi di biodegradazione anaerobica. Per tutta la durata della perforazione effettuata all'interno dell'isola 16, inoltre, si sprigionò un intenso e cattivo odore. Il calcare, in particolare, rinvenuto a 21 m circa di profondità, oltre ad un odore sgradevole, presentava un colore grigio non naturale, certamente dovuto a sostanze percolate dalla superficie. Il colore da grigio diventava nerastro in corrispondenza di alcune zone di discontinuità, sulle quali si evidenziarono patine oscure maleodoranti.

19.2.3. - Analisi chimiche condotte su campioni di acqua sotterranea nell'area EniChem

I campioni di acqua analizzati furono prelevati sia da pozzi privati, esterni allo stabilimento, sia dai piezometri presenti all'interno dello stabilimento. Le profondità di prelievo, riferite al piano campagna, erano comprese fra 10 e 72 m. I risultati delle analisi mostrarono, in generale, una non eccessiva presenza nella falda degli elementi inquinanti, mentre emergeva che le specie ioniche più rilevanti, sia in termini di concentrazioni medie che massime, risultavano essere il sodio (Na^+) ed il cloruro (Cl^-), la cui presenza era senza dubbio attribuibile all'in-

trusione marina nel continente.

Con specifico riferimento ai metalli pesanti, fra tutti i campioni prelevati solo alcuni fornirono valori superiori alla concentrazione limite, ed in particolare l'arsenico, il rame, lo zinco, il mercurio ed il cromo (stato di ossidazione +6). L'arsenico, a conferma di quanto già emerso dalle analisi chimiche dei terreni, fu individuato in un'area ristretta dello stabilimento con valori di concentrazione mi-

glia di volte superiori al limite previsto dalla legge (fig. 19.6). I solventi aromatici (toluene) risultarono notevolmente superiori al limite normativo solo in un paio di casi. La soglia di ammissibilità dei fenoli fu invece superata solo in un caso.

In sintesi, le analisi di laboratorio condotte sulle acque evidenziarono, all'interno dell'area oggetto di studio, oltre ad un generale incremento di salinità derivante dall'intrusione marina, due zone in cui le

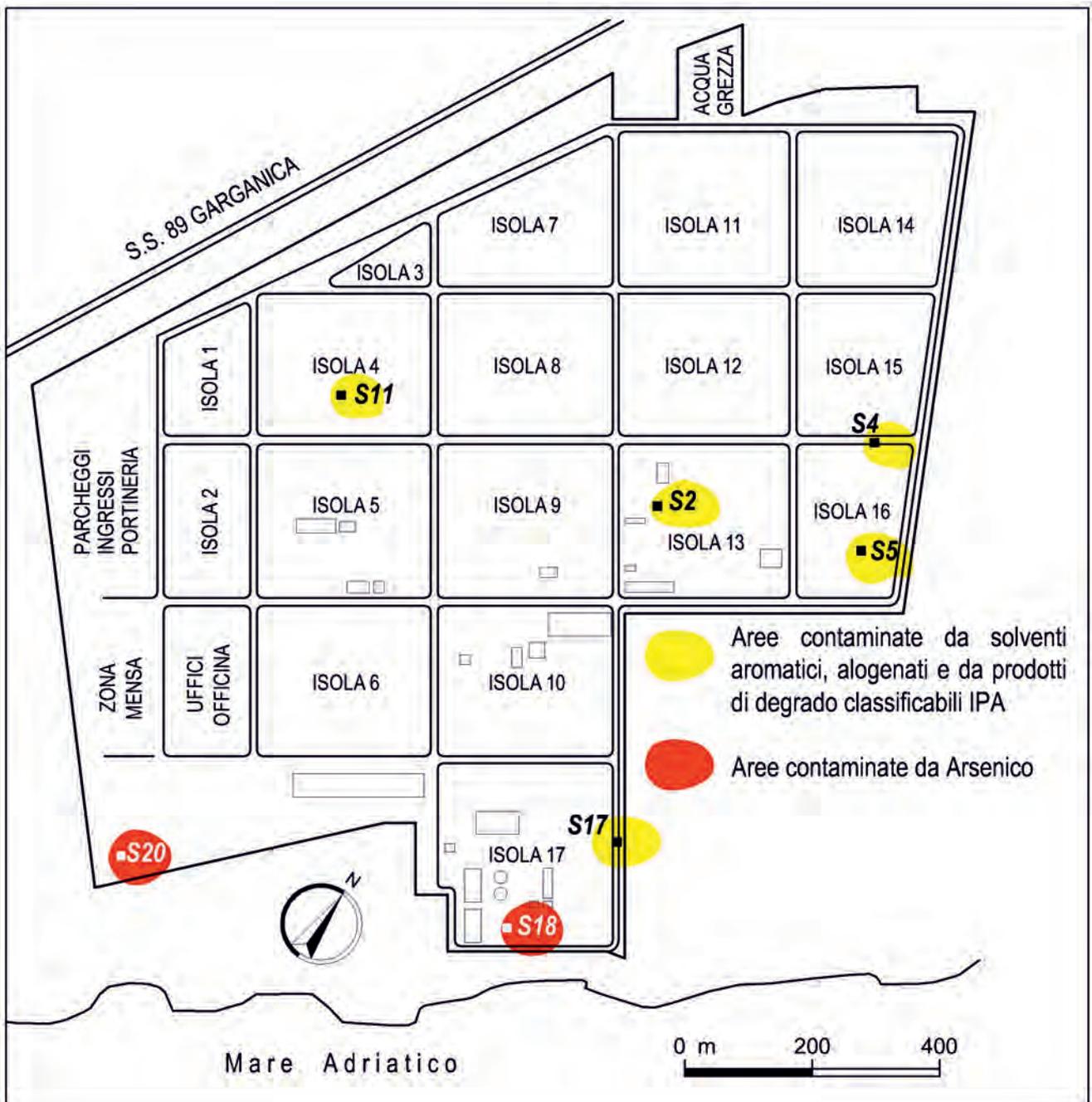


Fig. 19.5 - Indicazione delle zone dello Stabilimento EniChem-Agricoltura nelle quali sono stati rilevati nei terreni valori elevati di As ed IPA.
- Zones of the EniChem-Agricoltura plant with high concentrations of As and PAHs.

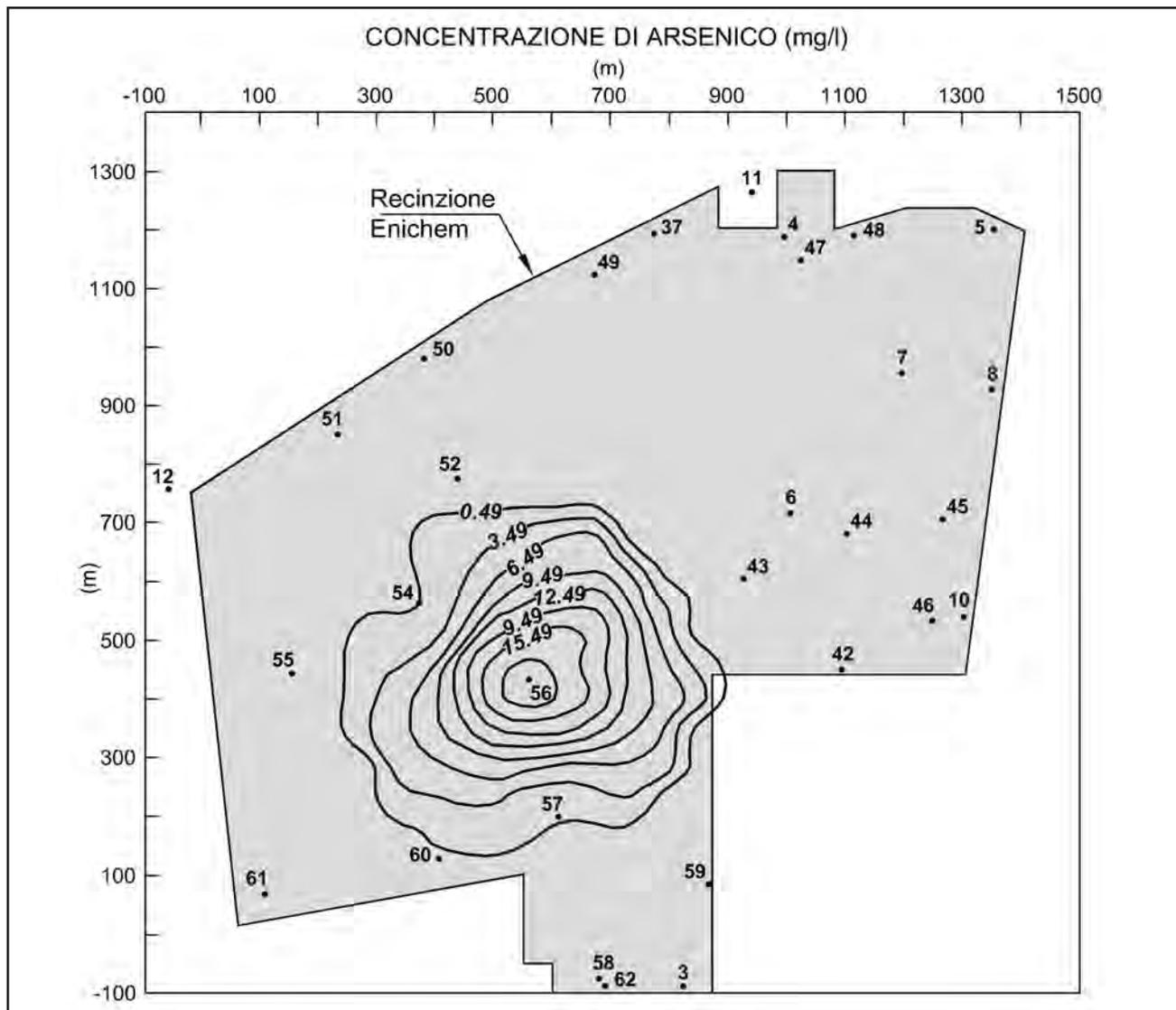


Fig. 19.6 - Curve di iso-concentrazione di Arsenico ricavate a seguito delle analisi chimiche svolte sui campioni di acqua prelevati (1996) nell'area dello Stabilimento EniChem-Agricoltura.

- Iso-concentration curves of Arsenic determined from the chemical analyses on water samples (1996) in the EniChem-Agricoltura plant.

acque sotterranee risultarono particolarmente alterate nelle loro caratteristiche chimico-fisiche. Una prima zona si trovava nella parte meridionale dello stabilimento, in cui furono rilevate concentrazioni eccedenti i valori limite relativamente a diversi elementi: zinco, fenoli, toluene, rame e nichel. Ciò fu attribuito alle lavorazioni che si effettuavano in tale parte dello stabilimento, dove erano ubicate le vasche di accumulo e scarico del caprolattame. In una seconda zona, nella parte orientale dello stabilimento, furono accertate elevate concentrazioni di zinco, fenoli, piombo, toluene e manganese. In tal caso lo stato qualitativo delle acque sotterranee fu sicuramente condizionato dalle operazioni che si

effettuavano in questa zona, dove venivano stoccati transitoriamente materiali in lavorazione. Una terza zona, con elevate concentrazioni di arsenico, fu individuata nella parte centrale dello stabilimento, con riscontro nelle analisi effettuate sui terreni; tale zona risultava sicuramente quella maggiormente preoccupante per gli effetti che tale elemento ha sulla salute umana.

Risultava interessante l'esistenza di una moderata relazione fra la concentrazione degli inquinanti nei terreni e la corrispondente presenza nelle acque sotterranee, sebbene non risulti affatto facilmente determinabile il percorso delle sostanze inquinanti dalla superficie all'acquifero. Infatti, se i terreni

sabbiosi, arenacei e conglomeratici sono, in prima approssimazione, equiparabili a mezzi porosi isotropi ed omogenei, la roccia costituente l'acquifero presenta un tetto particolarmente poco permeabile. L'inquinante supererebbe tale ostacolo, nel suo percorso verso il basso, solo grazie alla presenza di fessure e fratture (tettoniche) ad andamento sub-verticale, disposte secondo geometrie assolutamente imprevedibili e non omogenee. Inoltre, la superficie di contatto tra la roccia calcarea cretacea di base e la sovrastante formazione sabbioso-conglomeratica quaternaria presenta generalmente un'elevata permeabilità orizzontale.

Il percorso dell'inquinante dalla superficie del terreno verso la falda idrica sotterranea contenuta nei calcari del Mesozoico può aver subito, quindi, numerosi disturbi, i quali rendono estremamente complessa la ricerca del punto ipotetico di immissione dell'inquinante stesso.

19.2.4. - *Disinquinamento della falda nell'area EniChem*

L'inquinamento riscontrato per le acque della falda profonda presente nei calcari mesozoici dell'area dello stabilimento EniChem, determinava seri problemi ambientali in corrispondenza della zona costiera, considerato che il mare è il recapito finale della suddetta falda idrica. Il Ministero dell'Ambiente impose allora la realizzazione di una "barriera idraulica", ovvero di un intervento di disinquinamento dell'area mediante ricarica forzata della falda nella zona a valle dello stabilimento. La ricarica della falda doveva essere realizzata mediante una serie di pozzi d'iniezione, con i quali immergere nell'acquifero acqua non contaminata in quantità tale da invertire il flusso idrico, che in assenza di interventi era diretto verso il mare. Si sarebbero così ottenuti diversi effetti: diluizione delle concentrazioni degli inquinanti; creazione di un "gradiente idraulico inverso" rispetto a quello spontaneo di propagazione verso valle dei flussi idrici contaminati; creazione di una "barriera idraulica" all'intrusione di acque salate nella zona costiera dell'acquifero.

Per verificare la fattibilità tecnica ed economica della soluzione proposta dal Ministero dell'Ambiente, fu approfondito lo studio circa l'influenza

della "barriera idraulica" sul comportamento idrodinamico della falda (COTECCHIA, 2000). Lo studio, articolato in tre fasi, fu condotto mediante modelli numerici. In tutte le fasi dello studio, i contaminanti sono stati considerati non biodegradabili e conservativi, al fine di determinare le concentrazioni massime attese nei punti di controllo.

Nella prima fase è stata effettuata un'interpretazione dei dati sperimentali disponibili, al fine di dedurre i parametri idrogeologici di input, poi utilizzati nelle successive fasi dello studio. In particolare, il valore massimo del coefficiente di permeabilità è risultato pari a $7,5 \times 10^{-4}$ m/s, valore quest'ultimo molto inferiore a quello in genere riscontrato per le formazioni calcaree della piattaforma pugliese.

Nella seconda fase dello studio sono state effettuate delle simulazioni con modello matematico per lo studio del flusso sotterraneo in condizioni stazionarie indisturbate, ossia in assenza dell'intervento, ricostruendo quindi i percorsi di migrazione dei contaminanti al di sotto dell'area dello stabilimento. Detta analisi è stata eseguita su un dominio di calcolo rettangolare di estensione (4.000×5.250 m²) molto maggiore di quella dello stabilimento (130 ha). Le simulazioni hanno evidenziato che i tempi di residenza dei contaminanti rilasciati al di sotto dell'area dello stabilimento, ad una distanza dalla costa di 500-600 m, sono variabili da 200 giorni a 2-3 anni circa, in relazione alla posizione del punto di immissione ed ai conseguenti percorsi seguiti dal contaminante.

Nella terza fase dello studio sono state eseguite simulazioni di dettaglio al fine di determinare il numero di pozzi e le relative portate da utilizzare per la "barriera idraulica". In tali simulazioni il modello matematico è stato applicato ad un'area rettangolare (1.140×1.350 m²) che circonda lo stabilimento, imponendo sui bordi del dominio di calcolo le condizioni al contorno derivanti dalla precedente schematizzazione.

Le analisi effettuate hanno evidenziato la difficoltà di contenimento degli inquinanti all'interno dell'area dello stabilimento, soprattutto a causa dei vincoli progettuali imposti, riguardanti il tracciato della "barriera idraulica", che doveva pedissequamente seguire il perimetro interno dello stabili-

mento e la massima portata di immissione, che doveva essere pari a 80 l/s, ossia circa 1,6 l/s per ciascuno dei 52 pozzi previsti. Il primo vincolo determinava l'impossibilità di imporre andamenti piezometrici efficaci per invertire il flusso sotterraneo. Il secondo vincolo non consentiva di raggiungere, in corrispondenza della "barriera idraulica", altezze piezometriche della falda tali da invertire il flusso idrico sotterraneo.

Lo studio modellistico successivo è stato quindi finalizzato alla determinazione di soluzioni possibili per consentire la messa in sicurezza dell'area. Sono state effettuate diverse simulazioni aumentando progressivamente la portata di immissione di ciascun pozzo della "barriera idraulica", fino ad ottenere quella minima necessaria per invertire il gradiente piezometrico locale in modo permanente. Le simulazioni eseguite hanno evidenziato che, per ottenere lo sbarramento desiderato, era necessario incrementare la portata di ciascun pozzo da circa 1,6 l/s a circa 5 l/s e in qualche caso anche 9 l/s, ottenendo una portata complessiva d'immissione dell'ordine di 250 l/s, di gran lunga maggiore di quella inizialmente prevista (80 l/s). Il campo di moto che si instaura in tali condizioni (fig. 19.7) presenta comunque flussi che tendono ad aggirare la "barriera idraulica" alle estremità, e quindi a raggiungere il mare. Pertanto, erano richiesti accorgimenti per eliminare tale effetto, come il prolungamento della barriera ed il conseguente ulteriore incremento della portata, o l'inserimento di alcuni emungimenti integrativi nelle zone estreme della barriera stessa.

La proposta ministeriale fu poi abbandonata in quanto la sua realizzazione sarebbe risultata economicamente eccessiva.

19.3. - IL CASO DELLA FIBRONIT DI BARI

L'ex stabilimento FIBRONIT di Bari (fig. 19.8), inserito nell'elenco dei Siti Inquinati di interesse Nazionale (D.M. Ambiente n. 468 del 18/09/2001), è un sito industriale, ampio circa 150.000 m², dismesso dal 1985, nel quale si produceva fibrocemento, un composto formato da una miscela di cemento, acqua e fibre di amianto per la produzione di materiali per l'edilizia, quali tubi,

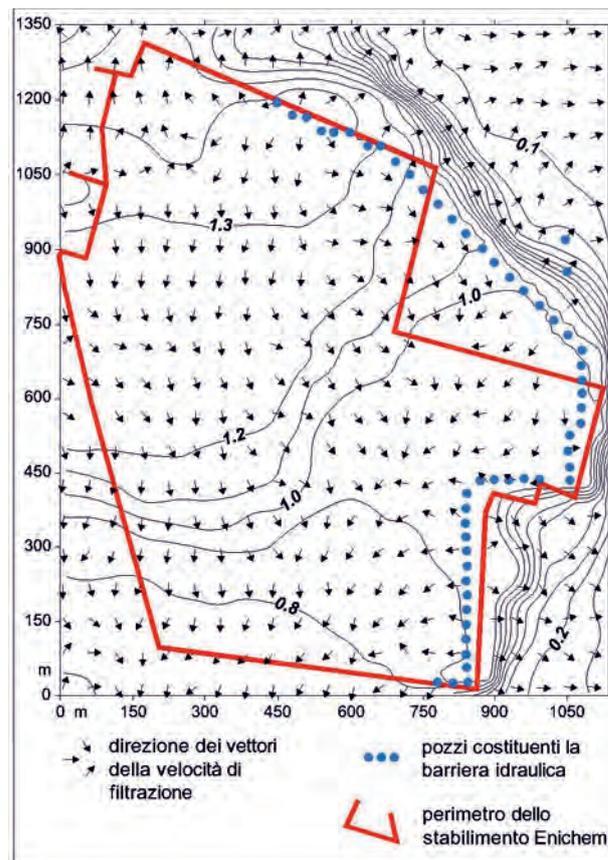


Fig. 19.7 - Simulazione del percorso dei contaminanti nell'area dello Stabilimento EniChem-Agricoltura a seguito dell'attivazione della barriera in immissione a 52 pozzi, ciascuno con una portata media compresa fra 5 e 9 l/s in condizioni di moto stazionario.

- Simulation of the pollutants pathway in the EniChem-Agricoltura plant after activation of the injection barrier of 52 wells, each with average discharge between 5 and 9 l/s in steady-state motion conditions.

lastre ondulate, vasche, ecc. Nel corso del processo produttivo, iniziato nel 1934, le aree interne allo stabilimento venivano regolarmente utilizzate come discariche di residui di lavorazione di cemento-amianto. Tali residui, misti a terreno bruno o sabbia avana con inclusi clasti lapidei, costituiscono tuttora uno strato di terreno di riporto, di potenza massima pari a cinque metri. Nell'ambito del piano di caratterizzazione del sito affidato al prof. V. Cotecchia dalla FIBRONIT Srl di Casale Monferrato, furono previste una serie di indagini finalizzate alla individuazione dello stato di inquinamento di suolo, sottosuolo e acque sotterranee, nonché delle strutture presenti in superficie e nel sottosuolo, al fine di fornire gli elementi necessari per un progetto di bonifica dell'area (COTECCHIA, 1997).

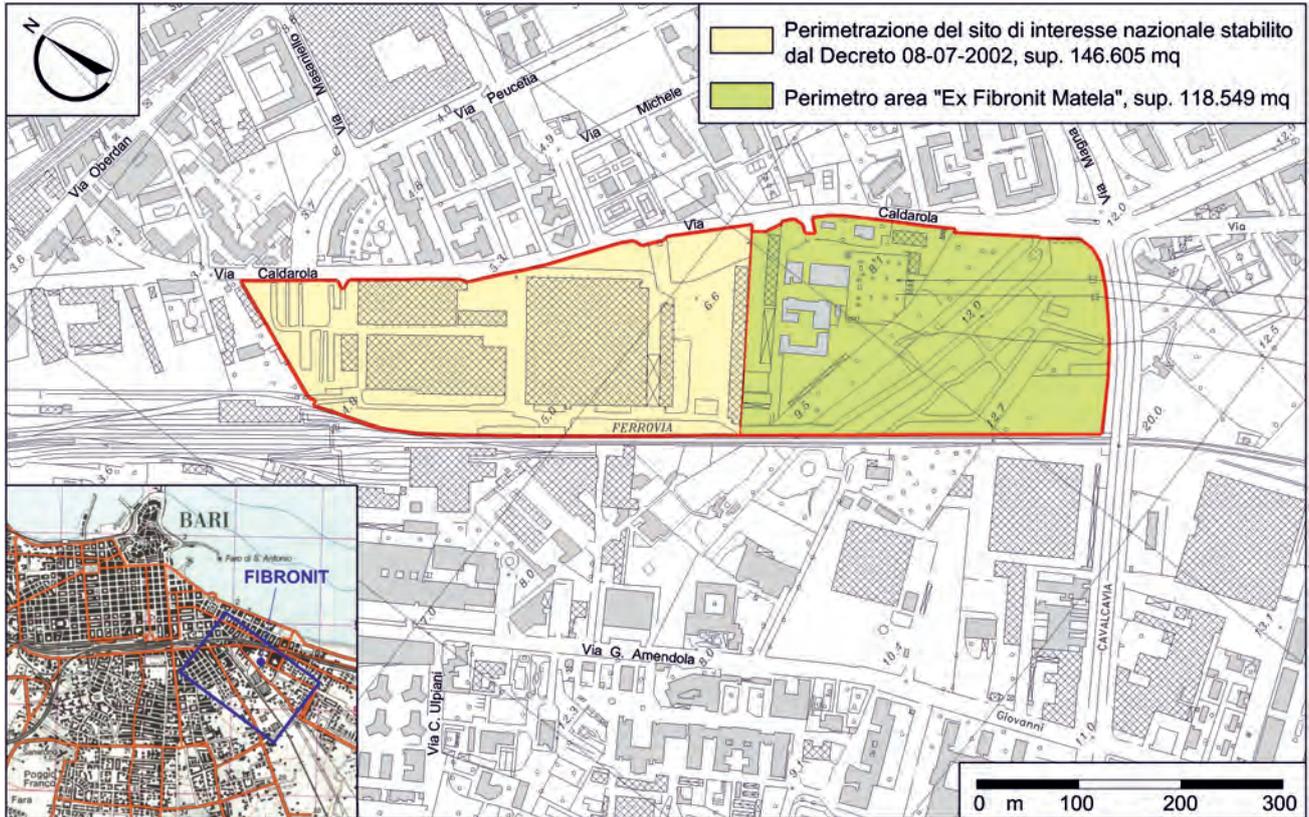


Fig. 19.8 - Planimetria con ubicazione del sito dell'ex Stabilimento Fibronit di Bari e relativa perimetrazione, così come stabilita dal DM dell' 8.07.2002.

- Map with location of the former Fibronit plant site and its boundaries, as after the Ministerial Decree of July 8, 2002.

19.3.1. - L'amianto e gli effetti sulla salute umana

Con il termine Amianto (dal greco = incorruttibile) o Asbesto (dal greco = inestinguibile) viene indicata una famiglia di minerali di natura fibrosa caratterizzata dalla capacità di sfaldarsi in fibre sempre più piccole. Chimicamente sono silicati idrati aventi una struttura cristallina caratteristica, costituiti da silicio, magnesio e ferro, in quantità variabili che ne caratterizzano le proprietà chimiche, fisiche e meccaniche, quali la resistenza agli acidi e alle basi, alla trazione, e all'elevata temperatura di decomposizione e fusione, ecc.

Nella normativa italiana sotto la denominazione di "Amianto" sono indicati sei composti, distinti in due grandi gruppi: Serpentino e Anfiboli.

Dal punto di vista strutturale i minerali del gruppo serpentino sono fillosilicati costituiti da tetraedri di SiO_2 i cui ossigeni sono a loro volta legati ad atomi di idrogeno. I tetraedri sono disposti secondo due dimensioni e condividono l'atomo di ossigeno formando strati. È la sovrapposizione degli strati che

provoca, in questi materiali, il fenomeno della sfaldatura. A questo gruppo appartiene il Crisotilo, fra i minerali dell'amianto certamente più diffuso ed utilizzato in passato in molte applicazioni industriali.

Al gruppo degli anfiboli appartengono altri minerali dell'amianto quali: Amosite, Antofillite, Crocidolite, Tremolite, Actinolite. Sono inosilicati (dal greco = catena), costituiti anch'essi da tetraedri di SiO_2 legati fra loro in una o più direzioni, provocando una struttura allungata la cui caratteristica è quella di presentarsi sotto forma di aghi.

In generale i minerali che venivano utilizzati in passato nelle diverse applicazioni industriali, erano il Crisotilo (amianto bianco), la Crocidolite (amianto blu) e l'Amosite (amianto bruno). In particolare, le analisi condotte nel 1996 per il Piano di Caratterizzazione su campioni prelevati dai sondaggi eseguiti all'interno della zona ex FIBRONIT di Bari, evidenziarono la presenza di fibre di amianto prevalentemente di tipo anfibolico (amosite e crocidolite) e in misura minore dell'amianto crisotilo (COTECCHIA, 1997).

La vastissima diffusione di prodotti e di applicazioni del cemento amianto, ne hanno determinato una larghissima presenza in qualunque tipo di ambiente, sia civile sia industriale, creando serissimi problemi relativi alla rimozione e al conseguente stoccaggio finale, in considerazione della elevata pericolosità delle fibre per la salute umana.

La maggior diffusione ed impiego dei manufatti contenenti amianto ha raggiunto l'apice, nel nostro Paese, tra gli anni sessanta e gli anni ottanta, mentre il declino ha avuto inizio con l'avvento delle norme che dapprima hanno limitato e successivamente vietato l'utilizzo di questo materiale, una volta accertata la sua pericolosità.

La pericolosità dell'amianto è correlata alla capacità dei materiali che lo contengono di rilasciare fibre potenzialmente inalabili; essendo infatti un materiale molto friabile, libera nell'atmosfera piccolissime particelle di minerale (dell'ordine del micron) le quali, una volta inalate, si concentrano nei bronchi, negli alveoli polmonari, nella pleura, provocando danni irreversibili ai tessuti, dovuti all'instaurazione di meccanismi patogenetici di natura irritativa, degenerativa, cancerogena (asbestosi, mesotelioma pleurico - peritoneale, cancro polmonare, ecc.).

La concentrazione delle fibre aerodisperse viene espressa in numero di fibre per unità di volume, facendo sempre riferimento alla definizione standard di fibra respirabile, che prende in considerazione parametri quali la lunghezza (pari o superiore a 5 µm), il diametro (uguale od inferiore a 3 µm) ed il rapporto lunghezza-diametro o *aspect-ratio* (uguale o maggiore a 3:1), in relazione ai quali è possibile definire dei valori limiti di riferimento a salvaguardia della vita umana, relazionati anche ai tempi di esposizione.

La definitiva messa al bando degli amianti (Legge n.257/92) e la conseguente dismissione dell'uso dei prodotti che lo contenevano, ha spostato l'esposizione dell'uomo a tali fibre dall'ambiente di lavoro a quello delle bonifiche e del corretto smaltimento, per ridurre i rischi connessi agli effetti sanitari di questo tipo di materiale.

Per quanto riguarda la pericolosità dovuta all'ingestione dell'amianto, l'OMS ha dichiarato nelle "Direttive di qualità per l'acqua potabile" del 1994 che "non esiste alcuna prova che l'ingestione di

amianto sia pericolosa per la salute" e quindi "non è stato ritenuto utile stabilire un valore guida fondato su delle considerazioni di natura sanitaria, per la presenza di questa sostanza nell'acqua potabile". Deve essere però considerato che, laddove le acque sotterranee vengono emunte per finalità ad esempio irrigue, per effetto dell'evaporazione e dell'assorbimento nei terreni, le fibre si disperderebbero in atmosfera.

19.3.2. - Ricostruzione storica delle attività svolte sul sito

Lo stabilimento dell'ex FIBRONIT di Bari (figg. 19.9, 19.10) era costituito da aree destinate allo stoccaggio dei prodotti finiti (A, B, C) e da capannoni (gruppo C, gruppo D, gruppo E-F) nei quali avveniva il processo produttivo.

Il processo produttivo, avviato nel 1934 dalla SAPIC (Società Adriatica Prodotti in Cemento Amianto), poi diventata a partire dal 1972 Cementeria Italiana Fibronit Spa e quindi nel 1982 Fibronit Spa, si è sviluppato nel tempo, distinguendosi in due fasi successive:

- la prima realizzata fino ai primi anni '70 in alcuni vecchi reparti sistemati nei gruppi dei capannoni individuati come gruppo D e gruppo C, nonché sull'area di accatastamento A;
- la seconda realizzata a partire dagli anni 1956-1960 e fino alla cessazione dell'attività produttiva dell'azienda, posta in essere nei gruppi di capannoni individuati come gruppo E-F, nel capannone D e Area C.

Il ciclo produttivo industriale consisteva in:

- scarico ed immagazzinaggio delle materie prime;
- miscela dei vari tipi di amianto;
- preparazione dell'impasto con cemento e acqua;
- formatura e sagomatura dei prodotti;
- stagionatura;
- rifinitura;
- stoccaggio finale.

Alla nascita, lo stabilimento era ubicato all'esterno del tessuto urbanizzato compatto della città di Bari. In seguito, a causa della forte espansione edilizia avutasi negli anni '60 - '70 del secolo scorso, le officine sono state inglobate nella città, occupando un suolo molto privilegiato, in adiacenza alla ferrovia ed ad assi viari primari.

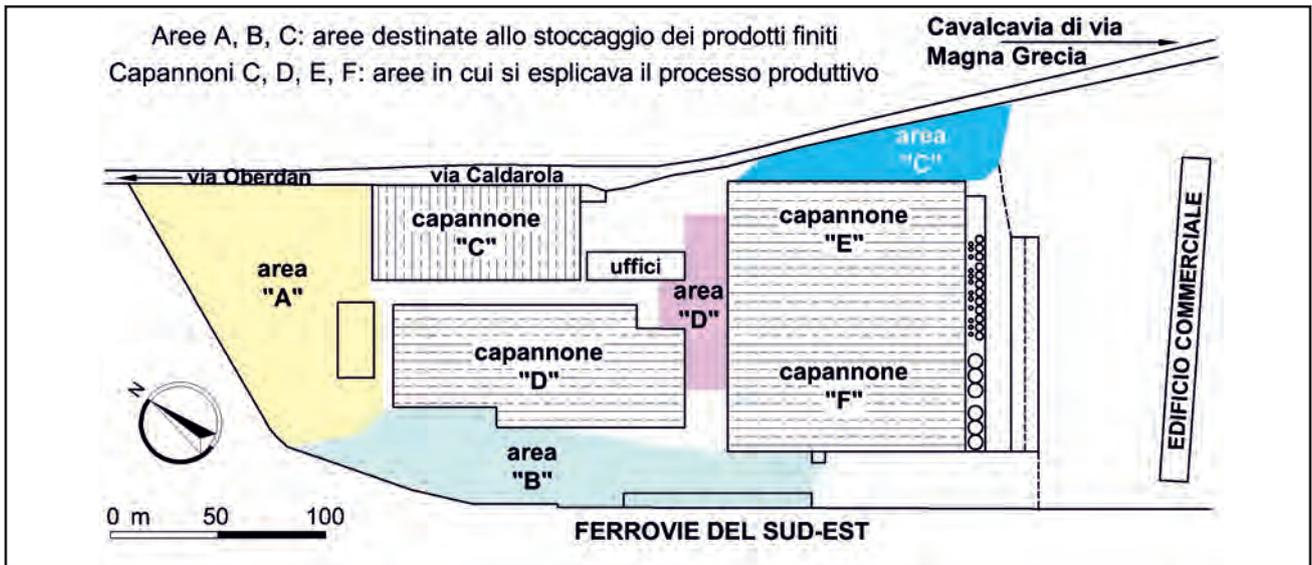


Fig. 19.9 - Planimetria dell'ex Stabilimento Fibronit con relativa suddivisione interna.
 - Map of the former Fibronit plant, and its internal subdivision.



Fig. 19.10 - Foto aerea storica dell'ex Stabilimento Fibronit di Bari.
 - Historical aerial photo of the former Fibronit plant of Bari.

Nel 1995 l'area, che è compresa tra Via Caldarola, la ferrovia Sud-Est ed il sovrappasso stradale Padre Pio, è stata sottoposta a sequestro giudiziario e posta sotto la tutela di una curatela fallimentare. Il sito è stato inserito nell'elenco dei siti inquinati di interesse nazionale (D.M. Ambiente n. 468 del 18/09/2001: "Programma nazionale di bonifica e ripristino ambientale") e, su proposta della Regione Puglia di concerto con il Comune di Bari, è stato perimetrato in seguito al Decreto del Ministero dell'Ambiente e Tutela del Territorio del 08/07/2002, così come riportato in figura 19.8, in modo da isolare una superficie complessiva di circa 146.000 m². Il comune di Bari, con Delibera

n. 55 del 02/05/2005, ha introdotto una specifica variante al Piano Regolatore Generale, ritipizzando l'area da "Zona per attività terziarie" ad "Area a verde Pubblico", prospettando, dopo la bonifica permanente della zona, la realizzazione di un parco.

Martedì 12 Settembre 2012, la sentenza del Consiglio di Stato ha chiuso una lunga contesa portata avanti dal Comune di Bari e dalla Regione, mettendo fine alla vertenza sulla variante al piano regolatore, ribaltando la decisione del Tar di Bari che aveva cancellato la trasformazione dei suoli in area a verde. Si fa quindi concreta la possibilità di realizzare un parco nel sito della ex fabbrica.

19.3.3. - Sintesi delle indagini eseguite alla fine degli anni '90

La caratterizzazione dello stato di inquinamento del sottosuolo e delle acque sotterranee nella zona dello stabilimento fu eseguita nell'ambito del già citato piano di caratterizzazione del 1997, attraverso l'esecuzione di indagini dirette ed indirette. Il programma di indagini, redatto dal prof. V. Cotecchia nel gennaio del 1996, otteneva il parere favorevole dal Servizio di Igiene e Sicurezza del Lavoro (ASL BA/4), di competenza territoriale. Inoltre, all'esame e all'attuazione dello stesso, prendevano parte, per le competenze loro attribuite

dalla Pretura Circondariale di Bari, i C.T.U. dalla stessa nominati.

Le indagini indirette, eseguite tramite l'uso congiunto di differenti metodi di prospezione geofisica (sismica, elettrica e radar), avevano come specifico obiettivo la ricostruzione della configurazione del terreno di riporto contenente i residui di cemento-amianto, l'individuazione della superficie di separazione tra materiali di riporto e i terreni in sede sottostanti e la definizione dei relativi spessori.

Le indagini dirette inclusero la realizzazione di 12 sondaggi geognostici all'esterno e 27 all'interno dell'area dello stabilimento. Cinque dei sondaggi esterni furono attrezzati a piezometro e in essi furono condotte indagini idrogeologiche, quali la misura delle velocità di filtrazione e il prelievo di campioni di acqua in condizioni dinamiche. I sondaggi geognostici interni allo stabilimento consentirono di effettuare una ricostruzione di dettaglio del sottosuolo indagato, oltre che di prelevare campioni d'acqua (n. 16). Ulteriori campioni d'acqua furono prelevati dalle cisterne e dai serbatoi interni allo stabilimento (n. 21). Furono inoltre previsti prelievi in più punti di campioni di terreno da sottoporre ad analisi di riconoscimento (n. 35) e di campioni di polveri e sfridi di lavorazione (n. 47). Fu poi eseguito il censimento, attraverso schede tecniche dettagliate, di tutti i materiali relativi alle strutture esistenti, sia all'interno che all'esterno dei corpi di fabbrica. Tale censimento stabilì la presenza di circa 1.200 tonnellate di materiale in cemento-amianto nell'area dello stabilimento, senza considerare i residui inclusi nel terreno di riporto.

Successivamente il sito è stato oggetto di ulteriori indagini. Fino al 2004 l'area fu sottoposta a controlli da parte della Società TIA per conto della Fibronit ormai in fallimento. Nel progetto di messa in sicurezza permanente, furono previste ulteriori indagini integrative, con sondaggi, piezometri, prove geotecniche e campionamenti di murature. Nel periodo aprile-luglio 2009, al fine di ottemperare ad alcune prescrizioni formulate dal Ministero dell'Ambiente, anche l'ARPA-Puglia ne avviò delle ulteriori. Nel complesso, al 2009, risultava che, nell'area dello stabilimento ex FIBRONIT di Bari, erano stati effettuati 90 sondaggi ed erano presenti 15 piezometri (TEDESI *et alii*, 2011).

19.3.4. - *Inquadramento geologico ed idrogeologico dell'area*

Dal punto di vista geologico e geomorfologico il sito presenta una estesa "lama" in parte riempita da materiali sciolti alluvionali disposti su terrazzi a varie quote che tendono ad approfondirsi verso Nord. L'originario avvallamento risulta totalmente riempito di manufatti in cemento-amianto, in quanto utilizzato come discarica. Al di sotto dei terreni di riporto è presente il terreno naturale, rappresentato da depositi terrosi bruno-rossastri talora sabbiosi e/o ciottolosi. Al di sotto di questi si rinvennero dapprima i tufi e/o calcareniti e successivamente il substrato calcareo.

I depositi sabbiosi, nell'area in esame, sono in continuità di sedimentazione con i tufi. Si tratta di sabbie e di sabbie siltose di color giallastro e/o avana che presentano talvolta noduli o straterelli di natura calcarenitica.

Le Terre rosse e Terre brune sono argille siltose e silt, di colore rosso bruno o rosso vivo, con la presenza di ciottoli calcarei, originatesi per processi di degradazione meteorica, di alterazione chimico-fisica e azione delle acque superficiali, che hanno agito sui depositi calcarei depositi in ambiente subaereo.

I cosiddetti Tufi e/o Calcareniti sono sedimenti marini in cui si riconoscono i prodotti di sedimentazione calcareo organogena e bioclastica e in subordine sedimentaria terrigena. Questi depositi giacciono in continuità sopra i calcari mesozoici con un'evidenza angolare, talora con l'interposizione di terre rosse.

Il substrato calcareo è costituito da rocce calcaree e/o calcareo-dolomitiche note anche come Formazione del Calcare di Bari (cap. 1).

Per quanto riguarda l'aspetto idrogeologico, tutto il sottosuolo dell'area barese è caratterizzato dalla circolazione idrica sotterranea avente parte nell'acquifero profondo afferente all'unità idrogeologica della Murgia, permeabile per carsismo e fratturazione, fortemente interessata dal fenomeno della intrusione marina nel continente (cap. 15).

Localmente possono sovrapporsi, all'acquifero profondo carbonatico, modesti ed effimeri acquiferi superficiali permeabili per porosità, contenuti nei depositi quaternari più recenti, la cui base è costituita dalla frazione più fine dei depositi stessi. In partico-

lare, nell'area dello stabilimento, la circolazione idrica interessa più attivamente le porzioni più alte dell'acquifero, in genere maggiormente permeabili.

19.3.5. - Ricostruzione della geometria del terreno di riporto inquinato

Le indagini hanno consentito di ricostruire l'esatta configurazione stratigrafica del terreno di riporto di varia natura misto a detriti di demolizione ed a residui di amianto di differenti tipologie, che ricopre l'intera area, sia nelle parti scoperte (strade, piazze, aree verdi, ecc) sia in quelle sottostanti i capannoni C, D, E ed F (figg. 19.11, 19.12). Si è potuta ricostruire la situazione originaria relativa agli avvallamenti preesistenti, attualmente ricoperti dai terreni contenenti residui di cemento-amianto e la configurazione dei terrazzi, posti a profondità differenti, costituiti da depositi sabbioso-ciottolosi di recente deposizione, immersi nelle terre bruno-rossastre. Tali terrazzi sono

sub-superficiali nelle porzioni Sud dello stabilimento e tendono ad approfondirsi verso Nord, con una netta differenziazione della natura litologica dei materiali di riempimento, che nelle porzioni Ovest dell'area indagata sono costituiti da sabbie e tufi, mentre in quella est sono principalmente rappresentati da terre brune e rosse.

I terreni di riporto nell'area dell'ex FIBRONIT di Bari non sono omogenei, ma costituiti da alternanze di strati ricchi di residui di lavorazione e strati contenenti scarse o nulle quantità degli stessi. Nella maggior parte dei casi si ha una alternanza di strati di spessore anche di 80 cm, in cui vi è terreno bruno o sabbia avana mista a sfrido della lavorazione, con inclusi clasti lapidei di varia natura e cocciame di tubi di cemento-amianto e strati generalmente non superiori ai 20-30 cm, in cui vi è netta prevalenza di sfrido di lavorazione e cocciame di tubi di cemento-amianto. Talora si rinvencono, interposti fra loro, livelli di terreno di riporto privo di qualsiasi materiale di provenienza industriale.

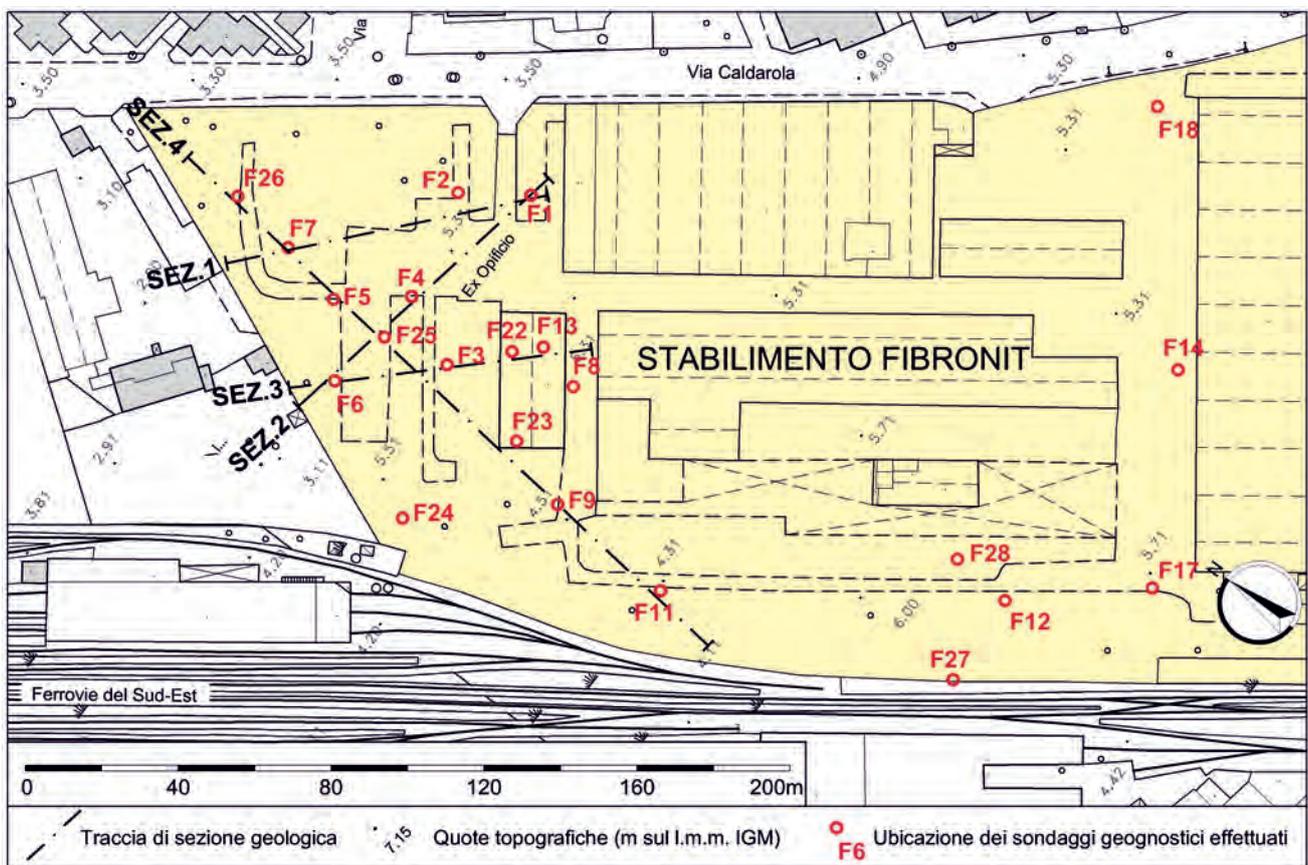


Fig. 19.11 - Planimetria con ubicazione dei sondaggi eseguiti all'interno dello Stabilimento Fibronit di Bari, e tracce delle sezioni geologiche ricostruite.
- Map showing the location of the boreholes within the former Fibronit plant of Bari, and the traces of the geological cross-sections.

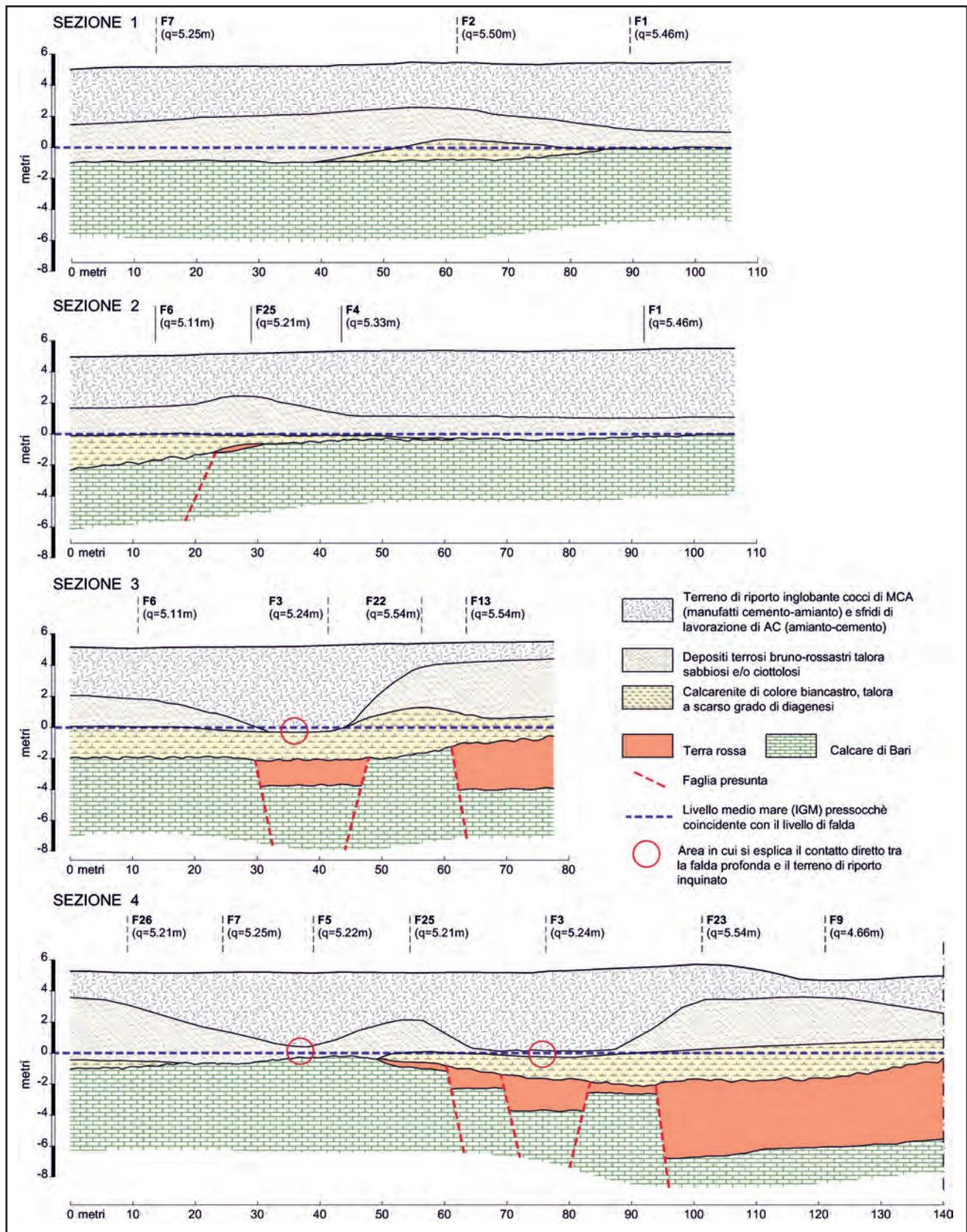


Fig. 19.12 - Sezioni geologiche all'interno dell'area dello Stabilimento Fibronitdi Bari. Le aree in cui si esplica il contatto diretto tra la falda profonda e il terreno di riporto inquinato risultano essere quelle a ridosso dei sondaggi F3 ed F5.

- Geological cross-sections within the area of the former Fibronit plant of Bari. The areas where there is direct contact between the deep groundwater and the polluted filling material are located nearby the boreholes F3 and F5.

L'area A (fig. 19.9) è fortemente interessata da sfridi di lavorazione, frammisti ad inerti vari. La stessa quota del piano campagna, di qualche metro superiore all'adiacente piano stradale di via Caldarola (fig. 19.13), ha messo in evidenza, con certezza, la presenza di un antico salto morfologico, livellato con materiali vari al fine di costituire l'attuale piazzale. Tali materiali, costituiti da riporti con inclusi manufatti di cemento-amianto, presentano spessori variabili in funzione della morfologia irregolare del substrato sul quale poggiano e comunque compresi fra un minimo di 0,80 metri (sondaggio F9) ed un massimo di 5,5 metri (sondaggio F3) in corrispondenza di un solco erosivo. Lo spessore del riporto tende ad assottigliarsi dalla zona centrale verso gli estremi dell'area, fino a raggiungere i suoi valori massimi in corrispondenza di una fascia più o meno delimitata dai sondaggi F7 e F2 verso Nord e dai

sondaggi F6 e F8 nella porzione più meridionale (fig. 19.13).

L'area B (fig. 19.9) è caratterizzata da terreni di riporto che non risultano fra loro tipologicamente omogenei. Anche in questa area è stata rilevata la presenza nei terreni di residui in cemento-amianto con spessori massimi intorno ai 3 metri (sondaggi F11-F28) (fig. 19.13).

Nell'area C (fig. 19.9) è stata individuata solo una piccola lente spessa 1,6 metri (sondaggio F19) di terreni con presenza di materiale di cemento-amianto, mentre nell'area D non vi è alcuna presenza di questo tipo di materiali (fig. 19.13).

Relativamente all'area sita a ridosso del sovrappasso Padre Pio (ex via Omodeo), le indagini condotte hanno messo in evidenza materiale contenente manufatti in cemento-amianto, con spessore pari a circa 1,5 m, solo in corrispondenza di un sondaggio.

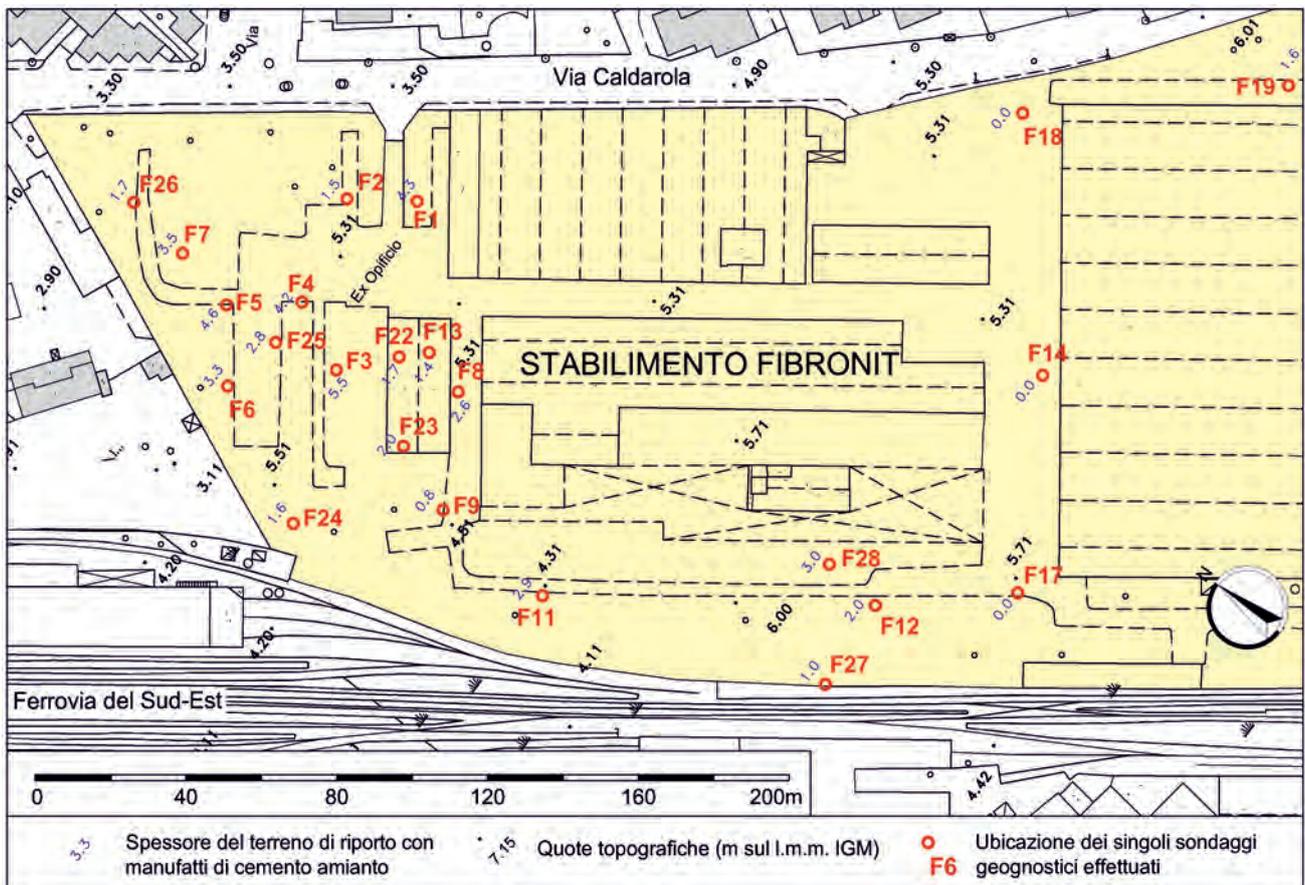


Fig. 19.13 - Planimetria con ubicazione dei sondaggi eseguiti all'interno dello Stabilimento Fibronit di Bari con indicazione di talune quote topografiche e spessori dei terreni di riporto inglobanti residui di cemento-amianto.

- Map showing the boreholes within the former Fibronit plant of Bari with indication of some topographic elevations and thicknesses of the filling material including asbestos-cement residues.

19.3.6. - *Inquinamento della falda profonda*

Nell'ambito del piano di caratterizzazione del 1997 venivano eseguiti campionamenti idrici in condizioni dinamiche da sette sondaggi penetranti nell'acquifero carbonatico di base ed esterni all'area dello stabilimento. Le analisi chimiche ese-

guite su detti campioni evidenziavano valori del contenuto di amianto variabili tra 1800÷9000 fibre/litro. Successivamente, nell'ambito delle indagini condotte per la redazione del progetto definitivo degli interventi di messa in sicurezza permanente di cui si dirà in seguito (TEDESI *et alii*, 2011), nel sondaggio PZV (fig. 19.14) esterno al

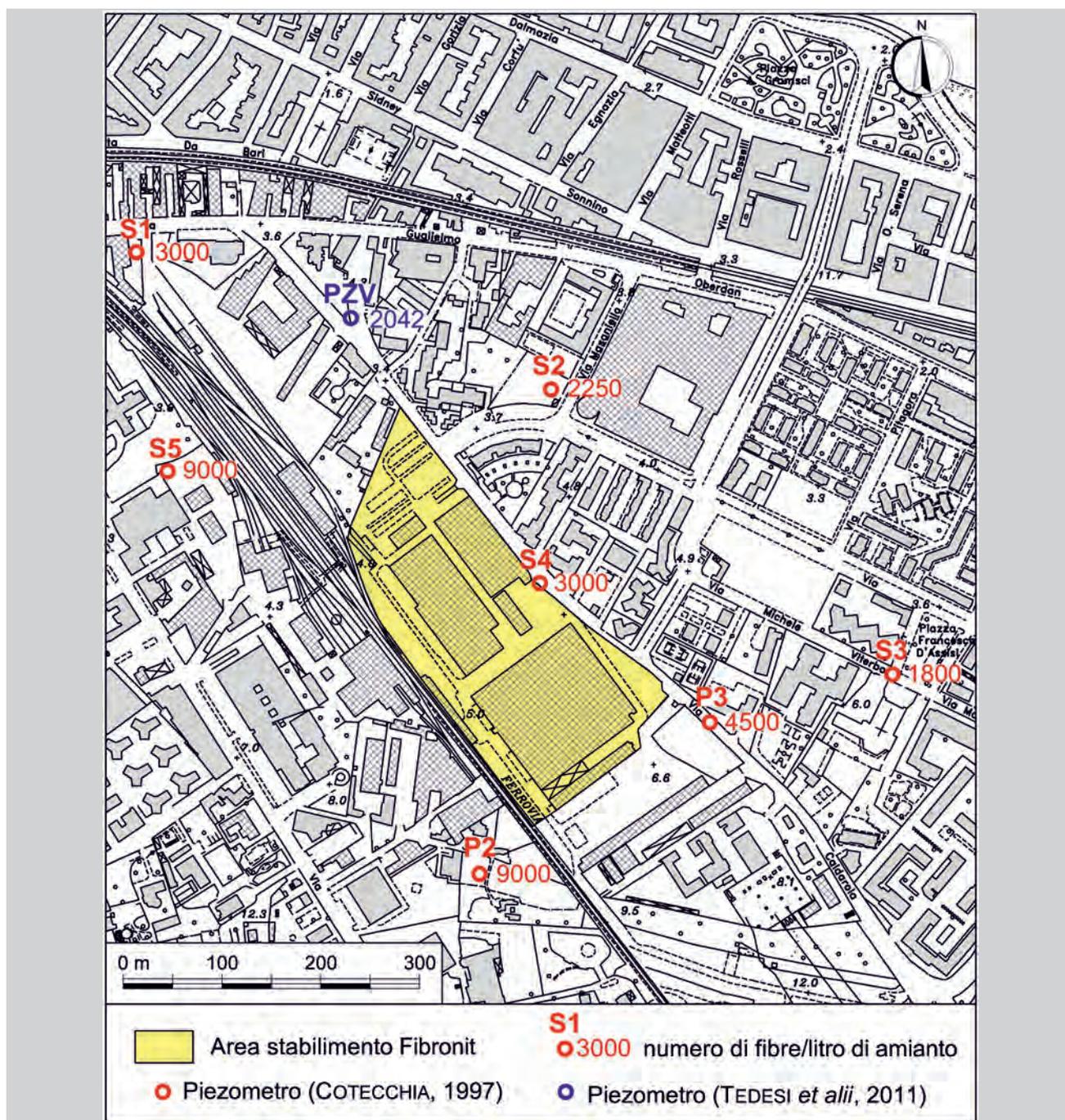


Fig. 19.14 - Planimetria con ubicazione dei sondaggi utilizzati per il prelievo dalla falda profonda, in condizioni dinamiche, di campioni d'acqua sottoposti ad analisi chimiche per la determinazione dell'amianto (fibre/litro) in prossimità dell'area dello Stabilimento Fibronit.

- Map showing the location of boreholes through which water samples from the deep groundwater were taken and chemically analyzed for the determination of asbestos (fibre/litre) near the area of the Fibronit plant.

perimetro dell'area di interesse nazionale e collocato a Nord, ossia idrogeologicamente a valle dell'area, è stata misurata una presenza significativa di fibre di amianto (2042 fibre/litro).

In generale, i valori del contenuto in fibre di amianto non sembrano avere alcuna correlazione apparente con la direzione del flusso idrico sotterraneo caratterizzante la falda profonda, la quale, nell'area in esame, segue una direzione normale alla costa, da Sud verso Nord.

Nell'area i livelli di falda si attestano in un intervallo compreso tra qualche centimetro alle poche decine di centimetri sul livello medio mare effettivo, ossia variano sullo zero IGM tra -0,5 e 0,1 metri. Le ridotte dimensioni dell'area, la discontinuità dei rilievi eseguiti e le piccole distanze tra i piezometri, non hanno reso possibile la ricostruzione delle linee isopieziche della falda. Le difficoltà sono in particolare da relazionare alla modesta cadente piezometrica che caratterizza la circolazione idrica nell'area di interesse, quantificabile in pochi decimi per mille, che avrebbe quindi richiesto l'estensione della campagna di indagine ad un'area molto più vasta e lo studio dell'influenza delle oscillazioni del livello mare sui livelli di falda (cap. 15; COTECCHIA *et alii*, 2007; COTECCHIA & SCURO, 2010).

Nell'area in esame, in funzione dell'assetto geostrutturale locale, la circolazione idrica si svolge in alcune zone in condizioni freatiche, in altre in condizioni lievemente confinate. Nelle zone in cui il tetto dei calcari si trova sotto il livello del mare (fig. 19.12) si ha infatti che, a causa della bassa permeabilità che in genere caratterizza i terreni sovrastanti il substrato calcareo, molto spesso rappresentati da terre rosse, la falda profonda risulta confinata per alcuni metri. Nel nostro caso la profondità rinvenimento dell'acquifero profondo è risultato essere al massimo pari a circa di 5÷6 metri al di sotto del livello mare. Va segnalato inoltre che, lì dove i calcari sono ricoperti direttamente dalla calcarenite, la circolazione idrica può esplicarsi anche sopra il livello del mare, a causa della sua non trascurabile permeabilità. Detta evenienza è in parte confermata dall'esistenza di velocità di filtrazione non trascurabili, misurate nelle zone di contatto tra i calcari di base ed i terreni calcarenitici di copertura.

Nel pozzo S4 di figura 19.14 è stato infatti verificato che, a fronte di una profondità della zona di contatto tra calcari e calcarenite di circa 6 m dal piano campagna, il livello piezometrico della falda profonda risultava a circa 5,5 m dal piano campagna, con valori delle velocità di filtrazione pari a circa 14 cm/g. Detta circostanza, oltre che influire sulla circolazione idrica sotterranea, influisce anche sulle condizioni di ricarica della falda, e quindi sulla vulnerabilità intrinseca all'inquinamento dell'acquifero profondo. Infatti, ove i terreni di copertura presentano una permeabilità significativa e modesto spessore, si determina l'agevole infiltrazione delle acque di origine meteorica.

La distribuzione anomala dei valori del contenuto in fibre di amianto sembrerebbe avvalorare l'ipotesi di inquinamento dall'alto per percolazione delle acque meteoriche che, in ragione della permeabilità dei terreni sovrastanti il basamento carbonatico, hanno consentito, ove più ove meno, la veicolazione dell'amianto nella falda profonda. I modesti corpi idrici superficiali possono presentare infatti una distribuzione delle altezze piezometriche, a seguito di importanti eventi piovosi, totalmente indipendente dalla piezometria della falda profonda, determinando quindi una infiltrazione dell'inquinante con distribuzione praticamente casuale ed inaspettata.

Dall'analisi delle sezioni n. 3 e 4 di figura 19.12, si evincono almeno due aree in cui vi è il contatto diretto tra la falda profonda e il terreno di riporto ricco di scarti in cemento-amianto, cioè le aree in prossimità dei sondaggi F3 ed F5, interni allo stabilimento della ex FIBRONIT. Nel caso del pozzo F3, la base del terreno di riporto inglobante residui di cemento-amianto si trova a quota -0,26 metri (IGM), al di sotto del quale si rinviene, dopo uno spessore di circa 1,7 metri di terra rossa, l'acquifero carbonatico cretacico. Qui la circolazione idrica sotterranea è caratterizzata da una quota piezometrica che, sulla base dei dati disponibili e relativi al mese di aprile del 1996, è stata stimata dell'ordine di -0,5÷0,1 metri IGM. La falda presenta dunque un livello idrico superiore al letto dei terreni contenenti amianto. La presenza di terre rosse tra l'acquifero ed i materiali inquinanti non è, nel caso specifico, da ritenersi sufficiente a proteggere la

falda; infatti, le indagini eseguite, in accordo con le conoscenze pregresse maturate nella città di Bari, hanno evidenziato la discontinuità laterale di detti materiali.

Il sondaggio F5 ha invece rilevato la presenza di materiale inquinato ad una quota pari a circa +0,6 metri IGM, prossima quindi a quella del livello di falda misurato nell'aprile 1996.

In realtà, stante l'estrema vicinanza alla costa, il livello di falda è fortemente influenzato dalle oscillazioni periodiche ed aperiodiche del livello del mare, tanto da poter ritenere con buona approssimazione che le variazioni del livello mare si risentano con modesto smorzamento sul livello di falda. Considerato che il livello mare subisce, nell'arco del tempo, notevoli escursioni, è possibile ipotizzare che le relative escursioni del livello di falda siano anch'esse notevoli, tanto da poter assumere valori superiori od inferiori a quelli misurati nel breve periodo di indagine. Vanno poi considerate le ulteriori variazioni che il livello di falda subisce in ragione delle condizioni idrologiche. Si può quindi ritenere che in corrispondenza dei sondaggi F5 ed F3 i materiali inquinati vadano a diretto contatto con le acque della falda profonda con spessori che, in corrispondenza di condizioni di alta marea e condizioni favorevoli di ricarica, possono raggiungere l'ordine del metro.

Considerata la successione litostratigrafica ricostruita con i sondaggi geognostici interni all'area dello stabilimento, e in funzione del differente grado di permeabilità tra la roccia calcarea di base, sede dell'acquifero profondo, e i terreni soprastanti, si è in grado di affermare che l'inquinamento della falda profonda può avvenire quindi sia per percolazione dall'alto di acque di superficie sia per contatto in profondità tra la falda e il terreno inquinato.

19.3.7. - *Interventi di messa in sicurezza*

L'area in cui ricadeva l'ex stabilimento FIBRONIT, che in principio presentava uno stato di conservazione di notevole degrado e costituiva fonte di pericolo per la salute pubblica a causa della presenza di capannoni e spazi esterni ricchi di rifiuti in cemento-amianto (circa 1.200 tonnellate), è stata, nel corso degli anni 2006÷2009, oggetto di

lavori di messa in sicurezza temporanea. Nello more della ultimazione dell'iter di approvazione delle procedure tecniche e della realizzazione della bonifica permanente del sito, sono stati infatti eseguiti lavori finalizzati a scongiurare il pericolo per la pubblica salute ed incolumità (COMUNE DI BARI, 2003; TEDESI *et alii*, 2011).

L'obiettivo degli interventi eseguiti è stato l'allontanamento dal sito di tutti i rifiuti, le coperture in tegoli, gli arredi, le dotazioni impiantistiche, gli infissi e qualunque oggetto e attrezzatura a corredo presente nel sito al di sopra del piano campagna e, in particolare, di tutti i materiali contenenti amianto. La quasi totalità delle coperture degli edifici, ad esempio, era costituita da lastre ondulate in cemento amianto.

Nel gennaio 2008 è stato redatto il progetto preliminare degli interventi di bonifica del sito, poi approvato nel mese di luglio dello stesso anno dal Ministero dell'Ambiente. Nel Giugno 2010 è stato quindi redatto il progetto definitivo, del quale, nel febbraio 2011, è stata presentata la Revisione 1, cui nel seguito si farà riferimento. La messa in sicurezza permanente prevede la realizzazione di un isolamento/impermeabilizzazione superficiale, integrato da interventi preliminari e propedeutici, tra cui la demolizione, con camere di confinamento, dei capannoni e la messa in sicurezza dei sottoservizi interrati. Le fasi della prevista bonifica sono così schematizzabili (TEDESI *et alii*, 2011):

- Allestimento cantiere (presidi sicurezza, box ufficio, ecc);
- Campagna di caratterizzazione integrativa dei terreni e delle acque di falda, da eseguirsi a recepimento delle prescrizioni degli Enti preposti;
- Smantellamento e demolizione progressiva di edifici, capannoni, strutture contaminate da amianto, da effettuarsi in ambiente confinato mediante allestimento di strutture/moduli di confinamento dinamico, riduzione pezzatura e insaccaggio in *big bags*;
- Smantellamento e demolizione progressiva di edifici, capannoni, strutture residui;
- Smaltimento presso impianti esterni delle frazioni indesiderate e a diverso recupero;
- Realizzazione di un volume confinato di messa in sicurezza permanente *on site*, per la collocazione in sicurezza dei *big bags* contenenti amianto;

- Predisposizione messa in sicurezza permanente del sito mediante allestimento di sistemi di isolamento superficiale dei terreni risultati contaminati da amianto;

Esecuzioni di controlli sanitarie ambientali in corso d'opera e verifiche finali dell'intervento a valle della conclusione degli interventi di messa in sicurezza permanente (TEDESI *et alii*, 2011).

Tale soluzione di intervento di messa in sicurezza permanente rappresenta una sorta di tombatura in loco (“*capping*”) che, pur annullando il problema della complicata movimentazione con scavo dei terreni misti a residui di amianto, non elimina il rischio dell'inquinamento della falda profonda, che potrebbe continuare a concretizzarsi non più per il percolamento delle acque di superficie, ma per il contatto diretto, che non può essere escluso, con il terreno di riporto ancora presente e contenente amianto. Il *capping*, inoltre, rappresenta una soluzione non definitiva, rimandando la problematica nel tempo, con il rischio che quella tomba di materiale pericoloso possa essere scoperta a lungo termine, quando, ormai dimentichi

del pericolo, la stessa area possa cambiare destinazione d'uso.

Per la bonifica definitiva sarebbe stata necessaria la totale asportazione del terreno di riporto (tra l'altro suggerita nel Piano di caratterizzazione del 1997) e comunque, per proteggere la falda, la creazione di una “scatola impermeabile”, da realizzarsi per mezzo di iniezioni di miscele impermeabilizzanti nei calcari di base costituenti l'acquifero, garantendo l'isolamento in profondità tra la falda idrica e il terreno inquinato, nelle zone in cui risultano in contatto.

19.4. - IL CASO DELL'EX GASOMETRO DI BARI

Il Gasometro di Bari avviò la propria attività nel 1865, quando, a partire dal carbon fossile, veniva prodotto gas di distillazione, denominato “gas di città”. L'area in cui venivano svolte le attività produttive occupava una superficie di circa 20.000 m² in una zona tra via Napoli e corso Mazzini, che nel corso degli anni ha subito un notevole incremento urbanistico (fig. 19.15).



Fig. 19.15 - Area dell'ex Gasometro di Bari (anno 2011) (da Maps.Google.com).
- Area of the former Gasometer of Bari (year 2011; source: Maps.Google.com).

All'interno dell'area potevano all'epoca identificarsi: una zona adibita ad uffici e all'abitazione del custode; una zona occupata dai reparti produttivi (forno, camere di depurazione, sala macchine, distillazione catrame ed officine); una zona occupata da tre gasometri; tre aree per lo stoccaggio di materie prime e scarti (fig. 19.16).

Nel 1968 la produzione del gas di città terminò a causa della sostituzione di quest'ultimo con il metano, per cui l'area su cui operava lo stabilimento fu abbandonata e l'Azienda Municipale del Gas fu trasferita. L'area è stata definitivamente abbandonata nella metà degli anni Ottanta. Soltanto nel 1999, tuttavia, furono demolite e rimosse tutte le

strutture fuori terra e l'intera superficie fu ricoperta con uno strato di circa 15 cm di breccia, come misura di messa in sicurezza provvisoria.

Dall'Aprile del 2000 al Luglio del 2006 sono state svolte svariate campagne di indagine per la caratterizzazione dello stato di contaminazione dei terreni e delle acque sotterranee. A tal fine negli anni sono stati prelevati e analizzati chimicamente sia campioni di terreno che campioni di acqua, i cui risultati sono stati confrontati con i valori di Concentrazioni Soglia di Contaminazione (CSC) previsti dal D. Lgs 152/06 per siti destinati a verde pubblico, privato e residenziale (rispettivamente per suolo e sottosuolo e per acque sotterranee). Le

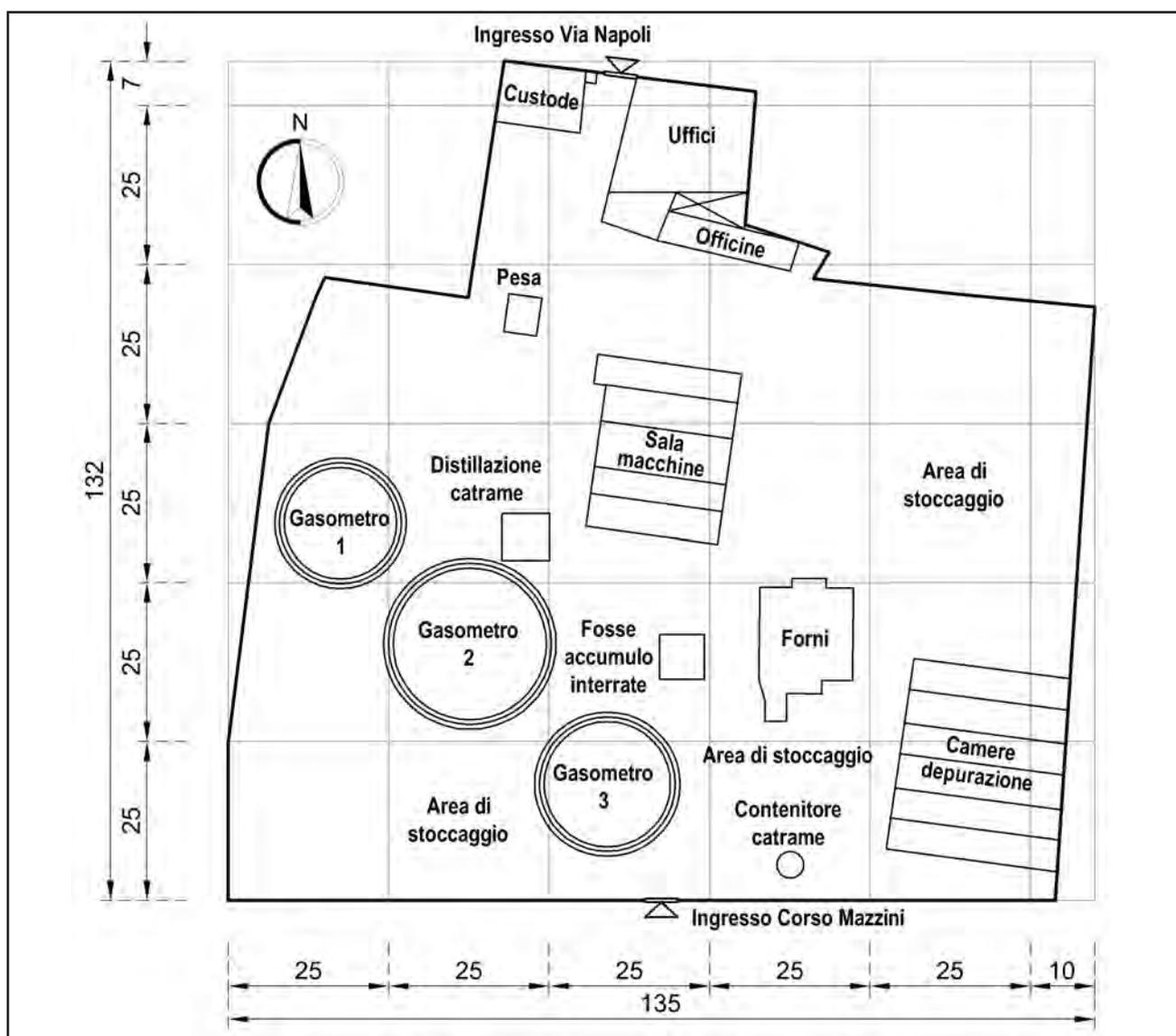


Fig. 19.16 - Schema dell'impianto dell'ex Gasometro di Bari (mod., da GOLDBER ASSOCIATES, 2007).
- Schematic representation of the former Gasometer plant of Bari (modified after GOLDBER ASSOCIATES, 2007).

indagini eseguite hanno accertato la presenza di una contaminazione del sottosuolo e delle acque sotterranee ad opera di metalli pesanti, idrocarburi, cianuri e fenoli.

Con l'obiettivo di realizzare la nuova sede municipale nell'area in cui operava lo stabilimento, il Comune di Bari approvò l'esecuzione di studi atti alla valutazione della fattibilità della bonifica del sito. Nel 2004 fu realizzato un Progetto Preliminare di Bonifica, ai sensi dell'allora vigente D.M. 471/99; nel 2007 fu redatto un Progetto Operativo di Bonifica, con riferimento però al decreto legislativo 152 dell'Aprile 2006; nello stesso anno l'Amministrazione Comunale decise però di non edificare più la nuova sede municipale nell'area in questione, destinandola invece a spazi verdi attrezzati a servizio della cittadinanza; nel 2011 è stato infine redatto il Progetto Esecutivo di Bonifica ai sensi del D.Lgs. 152/06.

A differenza degli altri casi di inquinamento antropico delle acque sotterranee descritti in questo capitolo, in cui il prof. V. Cotecchia costituiva a vario titolo parte attiva nei procedimenti di caratterizzazione dei siti, i risultati delle indagini riportate relative al caso dell'ex Gasometro di Bari sono quelli desunti dalla consultazione di documenti esistenti presso Enti pubblici (Settore Bonifiche e Rifiuti della Regione Puglia e Ufficio Ripartizione Ambiente del Comune di Bari). In particolare sono state considerate: l'analisi di Rischio e Progetto Operativo di Bonifica (GOLDER ASSOCIATES, 2007) e il Progetto Esecutivo di Bonifica (UNIECO, 2011).

19.4.1. - Ricostruzione storica delle attività svolte sul sito

L'Ex-Gasometro utilizzava carbon fossile per la produzione di differenti tipi di gas, il cui ottenimento avveniva a mezzo dei seguenti processi produttivi: distillazione del carbone fossile; gassificazione del coke; gassificazione del carbone fossile.

La distillazione del carbone fossile avveniva attraverso il riscaldamento in assenza d'aria ed in presenza di vapore, fino al raggiungimento di una temperatura di circa $1000\div 1100$ °C, per liberare un gas combustibile contenente essenzialmente idrogeno (H_2), metano (CH_4) e monossido di carbonio (CO). Dal processo si ottiene anche il coke, la

cui gassificazione porta alla produzione di gas d'aria, gas d'acqua e gas d'acqua carburato.

La produzione di gas d'aria (povero) era ottenuta insufflando aria in un apposito gasogeno, provocando la combustione del coke e la produzione di un gas contenente una parte combustibile costituita essenzialmente da CO e N_2 . La produzione del gas d'acqua era ottenuta insufflando vapore su carbone rovente, ottenendosi una miscela gassosa contenente H_2 e CO. Mentre il gas povero era prevalentemente utilizzato per il riscaldamento dei forni di distillazione, il gas d'acqua era anche impiegato per l'ottenimento di un gas d'acqua carburato, da immettere in rete, costituito da gas d'acqua miscelato con un altro gas ottenuto in genere dal *cracking* (termico o catalitico) di oli combustibili (gasolio), per migliorarne il potere calorifico.

Il gas di città era così ottenuto miscelando il gas d'acqua prodotto dal coke con il gas di distillazione prodotto dal fossile.

Il gas prodotto dal processo di distillazione del carbone fossile necessitava di una fase di depurazione, consistente in: condensazione; estrazione; decatramazione finale; lavaggio dall'ammoniaca e da oli leggeri; depurazione chimica.

Da quanto sinora descritto si deduce come le materie prime utilizzate fossero: il carbone, il coke e alcuni derivati del petrolio (questi ultimi utilizzati sia come materie prime che come oli di carburazione, atti dunque ad aumentare il potere calorifico del gas prodotto). I residui dei processi di distillazione e gassificazione erano costituiti essenzialmente da: catrame proveniente dal carbone e dai derivati del petrolio; emulsioni di catrame, olio e acqua; melme derivanti dagli idrocarburi e dal trattamento delle acque; coke; ceneri; ossidi e limi spenti; solfuri; solfato di ammonio.

Una buona parte dei residui di processo era potenzialmente riutilizzabile sia come materia prima per altre fasi del sistema produttivo, sia come prodotto destinato alla vendita. La gestione, tuttavia, dipendeva da fattori di convenienza economica ed era, quindi, condizionata dai quantitativi prodotti e dalla richiesta del mercato.

Il riscaldamento del carbone fossile era realizzato a mezzo della combustione, effettuata nei "forni" (fig. 19.16), del gas ottenuto tramite gassi-

ficazione del coke prodotto dalla distillazione del carbone fossile. Non tutto il coke veniva però impiegato per la gassificazione, ma una buona parte, previo deposito in “aree di stoccaggio”, veniva commercializzato. I gas di distillazione venivano canalizzati nella parte alta delle “camere di depurazione” dove, raffreddandosi, condensavano il catrame e le acque ammoniacali, che venivano raccolti in una fossa. Da questa le due fasi venivano separate sfruttando la loro insolubilità reciproca e il differente peso specifico. L’acqua ammoniacale, di peso specifico inferiore rispetto al catrame, defluiva in una vasca di raccolta per scorrimento superficiale, mentre il catrame defluiva dal basso verso un’altra vasca. Il catrame, inoltre, veniva distillato per recuperare alcuni prodotti organici, in modo da poterli commercializzare. L’impianto di “distillazione catrame” era ubicato tra il “gasometro 2” e la “sala macchine”, zona nella quale è stata osservata, come si vedrà in seguito, una contaminazione degli strati superficiali del sottosuolo e delle acque sotterranee. Il catrame veniva accumulato in due grosse cisterne metalliche, collocate fra l’ingresso di Via Mazzini e l’area delle camere di depurazione, zona dalla quale, prima della messa in sicurezza del 1999, provenivano odori sgradevoli, come testimoniato dagli inquilini degli stabili situati a ridosso della zona meridionale dell’area. Tale situazione sembra essersi creata a causa del danneggiamento delle due cisterne di accumulo (provocato in fase di rimozione di queste ultime) e del conseguente sversamento di catrame sul terreno.

Il gas prodotto veniva aspirato dalla “sala macchine” ed inviato, attraverso condotte interrato, alle “camere di depurazione” (fig. 19.16). Il processo di depurazione del gas consisteva nell’eliminazione dell’acido cianidrico (HCN) e dell’acido solfidrico (H_2S) con filtrazione attraverso terre rosse contenenti ossidi di ferro. In tale maniera l’acido solfidrico e l’acido cianidrico venivano bloccati nella fase solida formando solfuri di ferro, solfo cianuro e ferrocianuro. Dopo esaurimento, le terre utilizzate per la depurazione venivano sostituite nei letti di filtrazione e rigenerate per ossidazione con aria, presumibilmente all’aperto. Le reazioni di ossidazione dei solfuri di ferro producevano zolfo (S), il cui accumularsi nella massa depurata costringeva alla sosti-

tuzione delle terre (concentrazioni di S di circa il 50%). Di seguito il gas veniva inviato ai condensatori ad acqua per l’eliminazione dell’ammoniaca.

Il processo produttivo finora descritto permetteva di ottenere il cosiddetto “gas di città”, la cui composizione orientativa era: 50% di idrogeno, 24% di ossido di carbonio, 16% di metano, piccole quantità di idrocarburi paraffinici a basso peso molecolare e una percentuale di azoto e anidride carbonica compresa fra l’8% ed il 12%. Questo gas, caratterizzato da un potere calorifico di circa 4000 Kcal/m³, veniva stoccato nei gasometri e da lì immesso nella rete di distribuzione della città tramite condotte interrato. Le condotte del gas erano in ghisa catramata e correvano all’interno di spallette di calcestruzzo a profondità comprese fra 50 e 70 cm dal piano campagna. Il percorso del gas doveva chiaramente essere a tenuta, così da evitare la dispersione in ambiente di gas molto tossici. Tuttavia, durante l’esecuzione di trincee esplorative, alcune tubazioni sono state rinvenute piene di liquido catramoso.

19.4.2. - *Gli inquinanti osservati nell’area dell’ex Gasometro e gli effetti sull’ambiente e sulla salute umana*

Le sorgenti primarie della contaminazione che si riscontrano nell’area di studio sono costituite: dalla vasca di accumulo catrami interrato, ove è stata rilevata la presenza di catrame sia all’interno che al di sotto di essa, sebbene le informazioni disponibili indichino che la fossa sia stata svuotata durante i lavori di demolizione eseguiti nel 1999; dalle tubazioni per il trasporto di catrame, acque ammoniacali e prodotti della distillazione del catrame, per possibili perdite; dall’interramento di scorie o riempimenti e livellamenti con materiali di risulta; da sversamenti occasionali al suolo.

Le foto storiche e i ricordi degli ex-dipendenti concordano che le due aree di stoccaggio (fig. 19.16), e probabilmente anche altre zone dello stabilimento, ad eccezione forse del rettangolo prospiciente l’uscita Nord verso via Napoli, siano state occupate, seppure con modalità e frequenza variabili nel tempo, sia dal carbon fossile, sia dai suoi numerosi sottoprodotti e dai materiali di scarto. Inoltre, all’interno dell’area non risulta fossero pre-

senti sistemi viari dotati di pavimentazione.

Le sorgenti secondarie della contaminazione sono le componenti della matrice ambientale contaminate: terreno contaminato, prodotto in fase libera in galleggiamento sulla falda (LNAPL: *Light Non Aqueous Phase Liquid*); prodotto in fase libera (catrame) più pesante dell'acqua (DNAPL: *Dense Non Aqueous Phase Liquid*) presente nel terreno insaturo e in falda; contaminanti presenti in soluzione nelle acque sotterranee.

Dalle indagini condotte i contaminanti riscontrati nel terreno sono stati: IPA, fenoli, BTEX, idrocarburi leggeri (C<12) e pesanti (C>12), metalli (Cd, Pb, Cr), cianuri liberi. Per le acque sotterranee sono stati invece riscontrati: BTEX, IPA, idrocarburi totali, metalli (Fe), fenoli, cianuri liberi (GOLDER ASSOCIATES, 2007).

19.4.2.1. - Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA)

Gli idrocarburi policiclici aromatici sono presenti nei catrami e nel nerofumo. Hanno una scarsa solubilità in acqua (0,0005 mg/l del dibenzo(a, h)antracene e 31 mg/l del naftalene), dipendente dalle elevate dimensioni di queste molecole e dall'assenza di gruppi polari con forte affinità per l'acqua. L'elevato peso molecolare determina anche una loro scarsa volatilità; la bassa solubilità in acqua si accompagna ad un'elevata lipofilità, che ne favorisce l'adsorbimento sulle particelle di suolo e di sedimenti.

È noto che molti di questi idrocarburi, quando inalati, ingeriti o assunti tramite contatto epidermico, hanno provocato l'insorgere di tumori in cavie di laboratorio.

19.4.2.2. - Idrocarburi Aromatici Leggeri (BTEX)

La presenza di idrocarburi aromatici leggeri è associabile ai processi di distillazione dell'antracene. I più frequenti, ritrovati presso le officine gas, sono: benzene, toluene e xilene. Questi composti provenivano dalla frazione volatile del gas "grezzo", dalle materie prime e dagli oli di carburazione. Ciascuno di questi composti è volatile e viene assorbito e metabolizzato dall'organismo

anche se non persiste all'interno del corpo umano per lunghi periodi di tempo. La carcinogenicità del benzene è stata verificata dal *National Toxicology Program* (NTP) e dall'*US Environmental Protection Agency* (USEPA). Il toluene e gli xileni sono stati classificati come non cancerogeni per gli esseri umani sia dall'USEPA che dall'*International Agency for Research on Cancer* (IARC).

19.4.2.3. - Idrocarburi (C<12 e C>12)

La presenza di tali idrocarburi è associata ai catrami e alle frazioni pesanti ottenute nei processi di produzione del gas da carbone o da oli pesanti. Gli idrocarburi sono una miscela complessa di composti che comprendono sia composti organici a catena corta, leggeri e volatili, che composti pesanti a catena lunga e ramificata.

Il loro grado di infiltrazione nel terreno dipende dalla risultante della forza di gravità e della pressione capillare; i singoli composti possono inoltre separarsi dalla miscela solubilizzandosi in aria e acqua. I fattori che influenzano il tasso di infiltrazione della miscela includono le caratteristiche del terreno, il tipo di rilascio (istantaneo a seguito di un incidente o una perdita lenta) e la viscosità del prodotto. Quando la massa di prodotto migra in un mezzo poroso, una piccola percentuale della stessa viene trattenuta dalla matrice solida: tale quantità è detta "saturazione residua". In base alla persistenza del prodotto, la saturazione residua può interessare porzioni di terreno anche per molti anni. L'entità della saturazione residua è quindi un indice importante del grado di contaminazione del terreno, in quanto rappresenta un parametro che da indicazione circa la possibilità e l'entità di rilascio dei singoli componenti verso altre matrici ambientali.

19.4.2.4. - Fenoli

I fenoli sono presenti nella parte acida dei catrami derivanti da carbone e comprendono non solo il fenolo stesso, ma anche altri suoi derivati, quali i cresoli e altri componenti a maggiore peso molecolare.

I fenoli sono stati ritrovati quasi esclusivamente nei siti in cui avveniva la distillazione del carbone. Si sciolgono bene in acqua (84 g/l a 20 °C).

19.4.2.5. - Cianuri

Il processo di distillazione del carbone produceva notevoli quantità di cianuri che si univa ai metalli presenti nel gas o nei reagenti solidi. I cianuri sono piuttosto mobili nei suoli. Alcuni composti possono trasformarsi in sostanze diverse attraverso l'azione di microorganismi.

19.4.2.6. - Metalli

Presso le officine del gas, i metalli erano presenti sotto forma di impurità sia nel carbone che nei limi e ossidi impiegati nel processo di rimozione dei solfuri e dei cianuri. La presenza di metalli è quindi strettamente dipendente dalle materie prime utilizzate; sono stati ritrovati: arsenico, cadmio, ferro, piombo, zinco e rame. I metalli in forma ionica hanno una solubilità in acqua estremamente variabile, che dipende dagli anioni ai quali risultano legati. Gli ioni metallici passano in soluzione complessati da molecole di acqua ad altri ioni. Si tratta di specie chimiche che non presentano tendenza al passaggio in fase vapore.

I metalli non sono degradati da batteri e sono per questo tra i contaminanti le cui concentrazioni variano poco nel tempo. Un fenomeno significativo per i contaminanti inorganici come i metalli è quello del loro adsorbimento sulla matrice terreno.

19.4.3. - Sintesi delle indagini eseguite

L'area dello stabilimento industriale dell'ex Gasometro di Bari è stata oggetto, a partire dal 1999, di diverse indagini geognostiche e idrogeologiche (GOLDER ASSOCIATES, 2007).

L'ubicazione di tutti i punti di indagine realizzati all'interno del sito fra il 1999 e il 2004 è riportata in figura 19.17. Trattasi di 76 sondaggi geognostici di cui 26 attrezzati a piezometro. Inoltre, 13 punti di indagine sono identificativi di campionamenti di gas interstiziale (2002), 4 di campi prova *Jet Grouting* (2004). Le profondità investigate a partire dal piano campagna vanno da un minimo di 6 metri (sondaggi C1÷C12) ad un massimo di 30 metri (PZ11). Sono stati effettuati prelievi di campioni di terreno e di acque sotterranee, sottoposti ad ana-

lisi chimiche, prove di laboratorio geotecnico, profili sismici coniugati con il metodo della sismica a rifrazione, installazione di 9 piezometri esterni al sito, sia a monte che a valle (L-T), profondi 15 m dal piano campagna, 2 trincee esplorative lunghe rispettivamente 20 e 30 metri e profonde da 1,5 a 3 metri dal piano campagna.

19.4.4. - Inquadramento geologico ed idrogeologico dell'area

L'Ex-Gasometro di Bari ricade in una zona nota storicamente col nome di "Lago di Marisabella", un'area geologicamente depressa verso la quale confluiscono due lame, il cui ruolo è però ormai messo in crisi dalla dissennata gestione del territorio e dall'irresponsabile urbanizzazione anche delle aree attraversate da elementi chiave del reticolo idrografico. Le unità litologiche rinvenute in tale area, a cominciare dalla più recente, sono (COTECCHIA, 1973; GEOTRIVELL, 2002):

- depositi alluvionali e palustri, tipici delle depressioni, formati in tempi recenti, ovvero quando, in occasione di persistenti periodi piovosi, le lame trasportavano a valle materiale disgregato e dilatato dall'area delle Murge;
- depositi calcarenitici e detritico bioclastici, meglio noti come "Tufi delle Murge", di età pleistocenica;
- terre rosse, limi e argille, che segnano il passaggio dai "Tufi delle Murge" ai "Calcari di Bari", caratterizzate da una notevole discontinuità;
- "Calcari di Bari", di età cretacea, il cui assetto geo-strutturale è stato fortemente condizionato da fasi tettoniche che ne hanno alterato le originarie condizioni di giacitura degli strati, portando alla formazione di blandi piegamenti e netti piani di fratturazione, la cui presenza facilita l'infiltrazione delle acque meteoriche, accentuando i fenomeni carsici ed agevolando il trasporto dei prodotti dell'alterazione superficiale in seno alle discontinuità.

Per quanto concerne strettamente l'area dell'ex Gasometro (a titolo semplificativo si mostra la stratigrafia del piezometro PZ11 in figura 19.18), il cui piano campagna si aggira tra i 4 e 4,5 metri sul livello mare, si rinviene un terreno di riporto, di provenienza e spessore variabile (\approx 4 metri), caratterizzato da uno strato di breccia calcarea miscelata a terre rosse, steso durante i lavori eseguiti

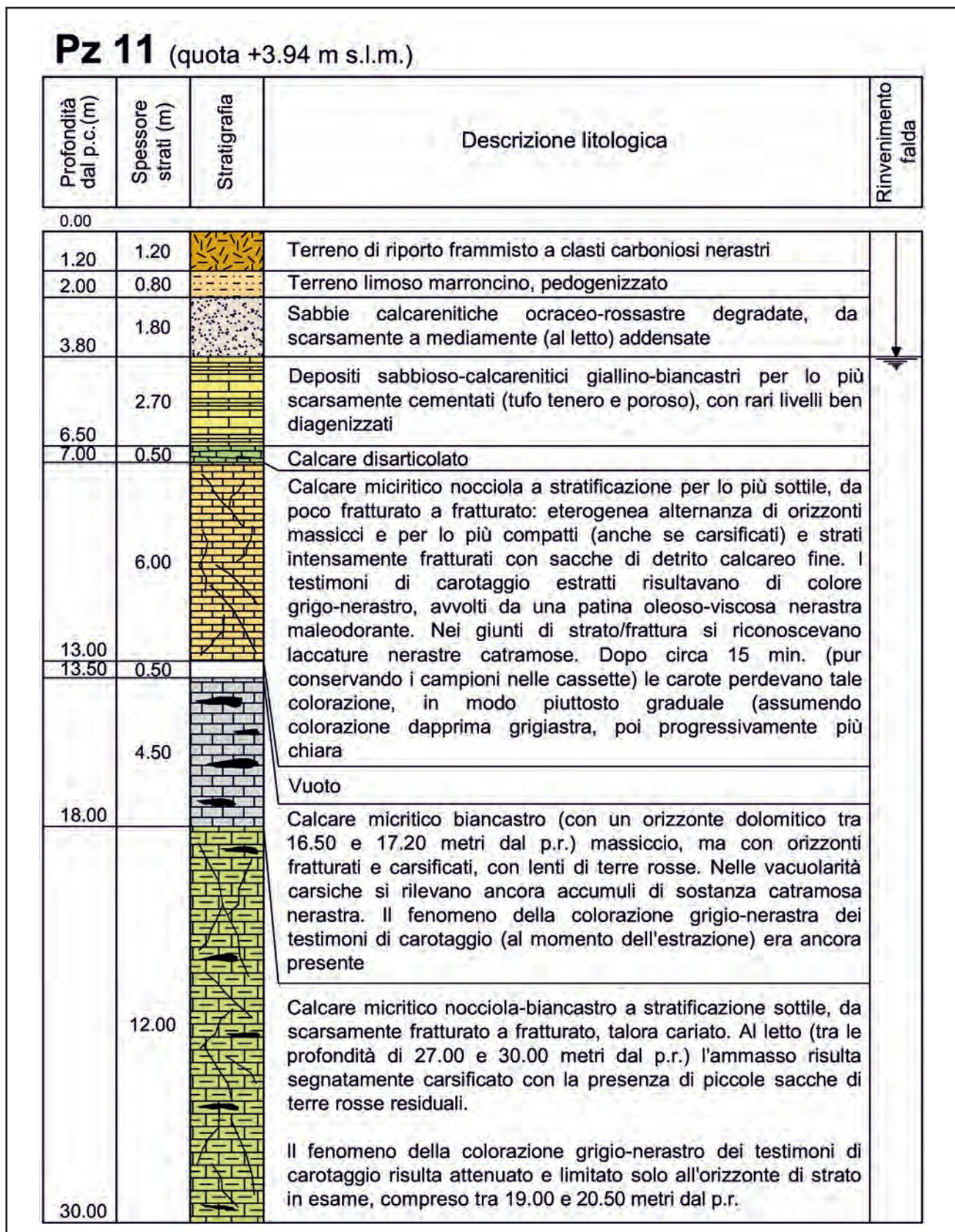


Fig. 19.18 - Litostratigrafia del piezometro profondo Pz11 nel quale si riconoscono le unità litologiche dell'area dell'ex Gasometro di Bari e il ritrovamento di patine catramose in profondità (mod., da GEOTRIVELL, 2002).

- Litostratigraphic logs of the deep piezometer Pz11 showing the lithological units of the former Gasometer of Bari and the tarry patinas observed at depth (modified after GEOTRIELL, 2002).

nel 1999. All'epoca, le demolizioni delle strutture e degli impianti hanno prodotto una quantità di materiali (macerie più o meno contaminate) che sono probabilmente in larga parte ancora presenti sull'area, il cui p.c. risulta in alcuni punti anche notevolmente sopraelevato rispetto al piano stradale circostante. Vi sono inoltre riporti di terreno direttamente derivanti dalle precedenti attività dello stabilimento e infine alcune strutture sepolte, tra cui rientrano i centri di diffusione "fosse di accumulo", "depositi catrame" e "distillazione catrame".

I depositi alluvionali e palustri e quelli calcarenitici e detritici, assumono nell'insieme uno spessore medio che si aggira intorno ai 3-4 m.

Le terre rosse (spessore pari a 1-2 metri) e i limi argillosi (5-6 metri) sono presenti in maniera discontinua e caratterizzati da spessori contenuti.

Per quanto riguarda l'assetto idrogeologico, il sottosuolo dell'area è caratterizzato, come già ampiamente discusso nel capitolo 15, dalla circolazione idrica sotterranea avente parte nell'acquifero profondo afferente all'Area Idrogeologica della Murgia, permeabile per carsismo e fratturazione, fortemente interessato dal fenomeno della intrusione marina. Localmente possono sovrapporsi, all'acquifero profondo carbonatico, modesti ed effimeri acquiferi superficiali permeabili per porosità, contenuti nei depositi quaternari più recenti, la cui base è costituita dalla frazione più fine dei depositi stessi. Dai carotaggi a disposizione si evince che non sono noti confinamenti della falda profonda ad opera dello strato calcarenitico, che quindi con tutta probabilità ospita le acque provenienti dal sottostante acquifero carbonatico profondo, quest'ultimo maggiormente permeabile. Il grado di fratturazione e l'incarsimento dell'acquifero carbonatico profondo, non sempre noti, assumono un'importanza fondamentale ai fini della circolazione idrica sotterranea. Inoltre, la presenza alla sommità delle terre rosse e di eventuali orizzonti argillosi, possono ridurre notevolmente la conducibilità idraulica locale e contemporaneamente, se presenti con spessori ingenti, limitare la percolazione in falda degli inquinanti.

In generale, nei pressi dell'abitato di Bari, l'acquifero profondo è caratterizzato da una elevata

permeabilità (dell'ordine del cm/s; tav. 3 f.t.) e i valori di velocità di filtrazione delle acque sotterranee sono dell'ordine del cm/d, al massimo m/d. La cadente piezometrica è in genere molto bassa, anche inferiore all'1‰. La distribuzione delle altezze piezometriche, il grado di intrusione marina, l'ampiezza della zona di transizione acqua dolce-acqua di mare, e dunque lo spessore effettivo di falda, possono essere fortemente influenzate dall'azione delle maree, considerata la piccola distanza del sito dalla costa. È evidente la necessità di quantificare detti aspetti al fine di comprendere le dinamiche di diffusione degli inquinanti per il sito in questione, come già evidenziato in questo capitolo nella descrizione del caso della Fibronit di Bari (19.3).

Secondo quanto riportato nell'analisi di Rischio e Progetto Operativo di Bonifica (GOLDER ASSOCIATES, 2007), la falda profonda scorre in direzione della costa con cadente piezometrica prossima all'1‰ e con profondità media pressoché coincidente con quella del livello del mare, ovvero di circa 4 metri dal piano campagna (circa $0,36 \div 0,39$ m s.l.m.), con direzione prevalente del flusso idrico sotterraneo SO-NE. Le altezze piezometriche della falda subiscono un'escursione giornaliera dovuta alle maree quantificate in circa 10 cm.

La falda profonda è interessata da fenomeni di contaminazione salina da parte delle acque marine di invasione continentale. Infatti, già nei primi 10 metri di profondità della falda, i valori di conducibilità elettrica sono variabili tra 0,7 e 3,5 mS/cm, cui corrisponde una concentrazione salina variabile tra 0,5 e 2,5 g/l circa, e tendono ad aumentare con la profondità (fig. 19.19).

Al fine di interpretare i dati disponibili, va osservato che i valori di cadente piezometrica misurati all'interno del sito in esame indicano variazioni dell'altezza piezometrica della falda, misurati tra i vari piezometri disponibili, di pochi cm, ossia dello stesso ordine di grandezza degli errori di misura. Al fine di determinare le linee isopieziche della falda sarebbe stato quindi necessario estendere l'indagine ad una porzione di territorio più ampia rispetto al sito in esame, ed eseguire misure piezometriche tenendo conto dell'effetto delle maree.

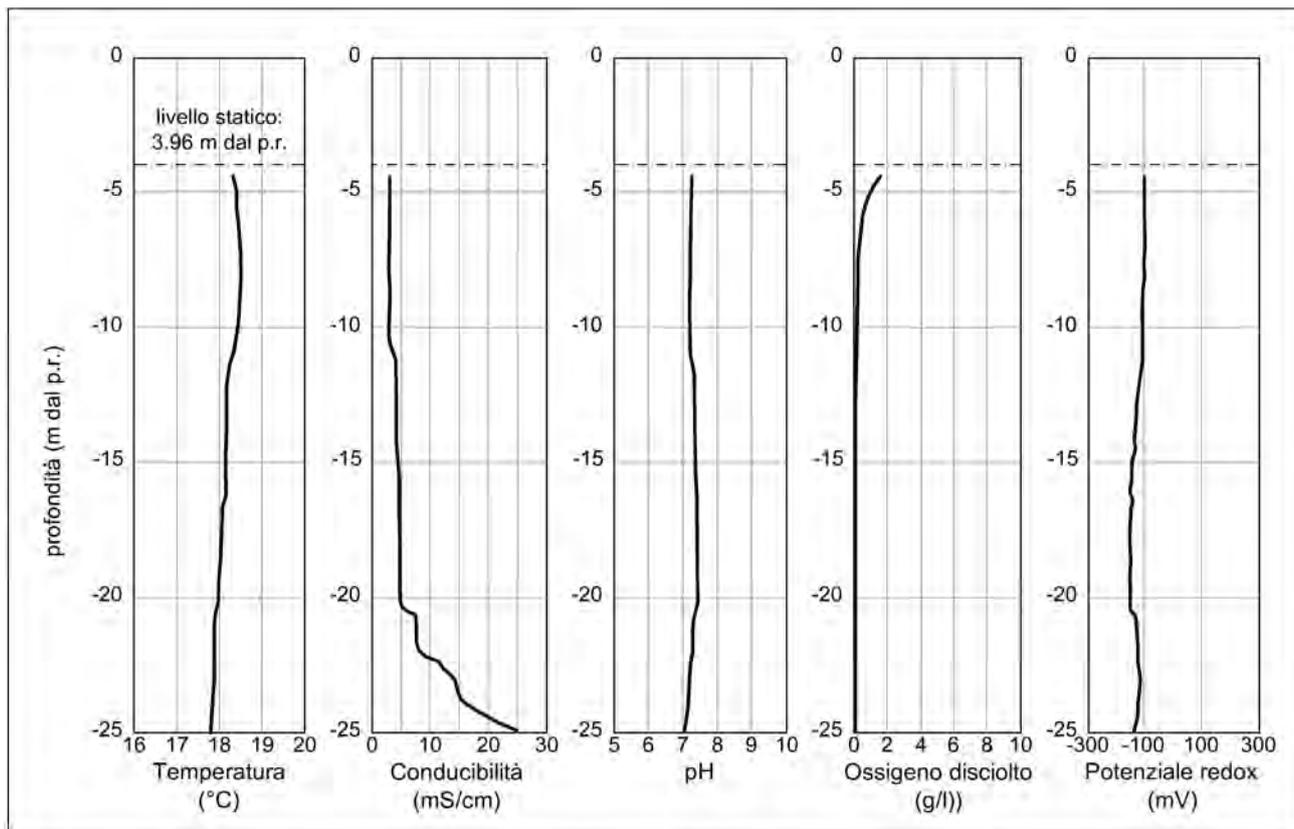


Fig. 19.19 - Carotaggio multiparametrico eseguito nel pozzo Pz11 nell'area dell'ex Gasometro di Bari (mod., da GEOTRIVELLI, 2002).

- Multi-parameter log performed in the well Pz11 in the area of the former Gasometer of Bari. (modified da GEOTRIVELLI, 2002).

Prove di portata eseguite nel sito in esame hanno fornito un coefficiente di permeabilità k pari a circa 10^{-2} cm/s nei depositi alluvionali e palustri e quelli calcarenitici e detritici, e circa 10^{-3} cm/s nell'acquifero carbonatico profondo. Quest'ultimo risulterebbe quindi localmente poco permeabile, se confrontato con quanto riscontrato in altre zone della città di Bari, ove il coefficiente di permeabilità risulta in genere di gran lunga superiore, dell'ordine di 10^{-1} – 10 cm/s (tav. 3 f.t.; cap. 15). A tal riguardo va osservato che il valore del coefficiente di permeabilità riscontrato dalle indagini appare poco coerente anche con i valori di velocità di filtrazione (≈ 20 cm/d) e di cadente piezometrica (≈ 1 ‰) misurati nell'area in esame. Infatti, nell'ipotesi di validità della legge di Darcy (cap. 2), si ha:

$$v = K i \quad (19.1)$$

dove:

v [cm/s] = velocità di Darcy ;

i [-] = cadente piezometrica;

K [cm/s] = coefficiente di permeabilità;

Non conoscendo le modalità con cui sono state condotte ed interpretate le misure di velocità di filtrazione, non è possibile stabilire se il valore riportato nei documenti progettuali corrisponda alla velocità di Darcy o alla velocità di filtrazione effettiva. In ogni caso, supponendo che la velocità di filtrazione misurata in sito sia pari alla velocità di Darcy, si ottiene $K = 2,3 \times 10^{-1}$ cm/s. Ipotizzando invece che la velocità di filtrazione misurata sia pari a quella effettiva ed assumendo per l'acquifero una porosità efficace pari a 0,1, si ottiene $k = 2,3$ cm/s. Entrambi i valori risultano di gran lunga superiori a quelli misurati con le prove in sito di cui si è detto in precedenza e sono invece coerenti con i valori del coefficiente di permeabilità riportati per la città di Bari in tavola 3 (f.t.).

Indagini geofisiche eseguite nell'area in esame hanno indicato una riduzione della permeabilità a circa 28 m dal p.c., e ciò in quanto le rocce carbonatiche ivi risulterebbero poco fratturate. Va però evidenziato che in detta area, considerato che le altezze piezometriche della falda risultano di pochi decimetri superiori al livello mare, a profondità del-

l'ordine dei 25 metri di profondità si ha con tutta probabilità il passaggio all'acqua di mare intrusa nel continente presente alla base dell'acquifero e quindi una notevole riduzione del flusso idrico sotterraneo dolce, così come tra l'altro evidenziato dal log multiparametrico eseguito lungo la verticale del pozzo PZ11, il quale indica, all'aumentare della profondità, un aumento della conducibilità elettrica e una riduzione dell'ossigeno disciolto (fig. 19.19).

L'attuale stato delle conoscenze non consente quindi di definire un modello concettuale idoneo per la definizione delle dinamiche del processo di inquinamento della falda, le quali ad oggi possono essere definite solo qualitativamente.

La fase libera in galleggiamento sulla falda (LNAPL) si muove presumibilmente nella stessa direzione della falda, mentre la fase libera più pesante dell'acqua (catrame; DNAPL) può arrestarsi a profondità differenti in base allo stato di fratturazione e incarsimento del substrato calcareo. Ciò significa che se la collocazione dei focolari inquinanti è compresa tra i 10 e i 20 metri di profondità, il catrame è soggetto sia a processi di lisciviazione e advezione da parte della falda che ai più lenti fenomeni diffusivi, mentre se essi risultano bloccati a profondità maggiori di 20 metri (in cui presumibilmente è presente acqua di mare di intrusione continentale), sono interessati solo dalla diffusione molecolare, per cui la loro porzione ancora idrosolubile potrebbe tornare in falda, allorché in tempi molto lunghi. Infine, i contaminanti presenti in soluzione nelle acque sotterranee si muovono inevitabilmente secondo la direzione della falda, che come già illustrato non è facilmente individuabile, in quanto localmente la direzione del flusso idrico sotterraneo può essere alquanto variabile in relazione dell'eterogeneità dello stato di fratturazione dell'ammasso carbonatico, circostanza questa non adeguatamente indagata.

19.4.5. - *Inquinamento dei terreni*

Alla luce delle analisi chimiche eseguite sui terreni nel periodo 2000÷2006, è emersa una contaminazione diffusa estesa all'area occidentale, centrale, meridionale e sudorientale del sito, ad opera di metalli, idrocarburi, cianuri e fenoli. La contaminazione riscontrata interessa in misura

maggiore i primi strati di terreno di riporto e i depositi calcarenitici, ma sono sempre interessati in profondità anche i calcari mesozoici di base. Nelle figure 19.20 e 19.21 è possibile osservare l'estensione della contaminazione nei terreni non saturi (a -2 e -4 metri dal piano campagna), mentre nella figura 19.22 si riportano 3 sezioni geologiche in cui è indicata la presunta estensione in profondità della zona contaminata.

In corrispondenza dei primi 2 metri di terreno si è registrato un notevole superamento delle CSC del piombo, che ha raggiunto anche concentrazioni di qualche migliaio di mg/kg, mentre si sono occasionalmente superate le CSC per il cadmio e per il cromo.

Gli idrocarburi aromatici, con specifico riferimento al benzene, al toluene ed allo xilene, sono risultati non conformi alle CSC in quasi tutta l'area, eccetto che nella zona settentrionale, raggiungendo concentrazioni dell'ordine di qualche decina di mg/kg per profondità comprese fra 2 e 6 m dal p.c. Anche gli idrocarburi policiclici aromatici (IPA) e gli idrocarburi pesanti sono risultati non conformi alle CSC su tutta l'area, ad eccezione della zona Nord. Gli idrocarburi pesanti, in particolare, hanno raggiunto concentrazioni pari a 4000 mg/kg, mentre gli IPA hanno superato anche di tre ordini di grandezza le CSC.

La concentrazione dei fenoli, infine, è risultata diffusa nella parte centrale, occidentale e meridionale del sito, raggiungendo concentrazioni anche di svariate centinaia di mg/kg.

Durante l'esecuzione dei sondaggi è stata inoltre rilevata, all'interno delle fratture e delle cavità dei calcari, la presenza di materiale catramoso, il quale è dunque riuscito ad infiltrarsi in profondità, nonostante la presenza di depositi di varia natura. Tale materiale è stato rinvenuto addirittura a 20 metri dal piano campagna in corrispondenza dell'"area di stoccaggio" a NO (fig. 19.16), zona che deve quindi ritenersi uno dei centri di contaminazione all'interno dell'area dell'Ex-Gasometro.

19.4.6. - *Inquinamento delle acque sotterranee*

Le campagne di prelievo delle acque sotterranee sono state condotte negli anni 2002 e 2004 e hanno interessato sia pozzi interni al sito che pozzi

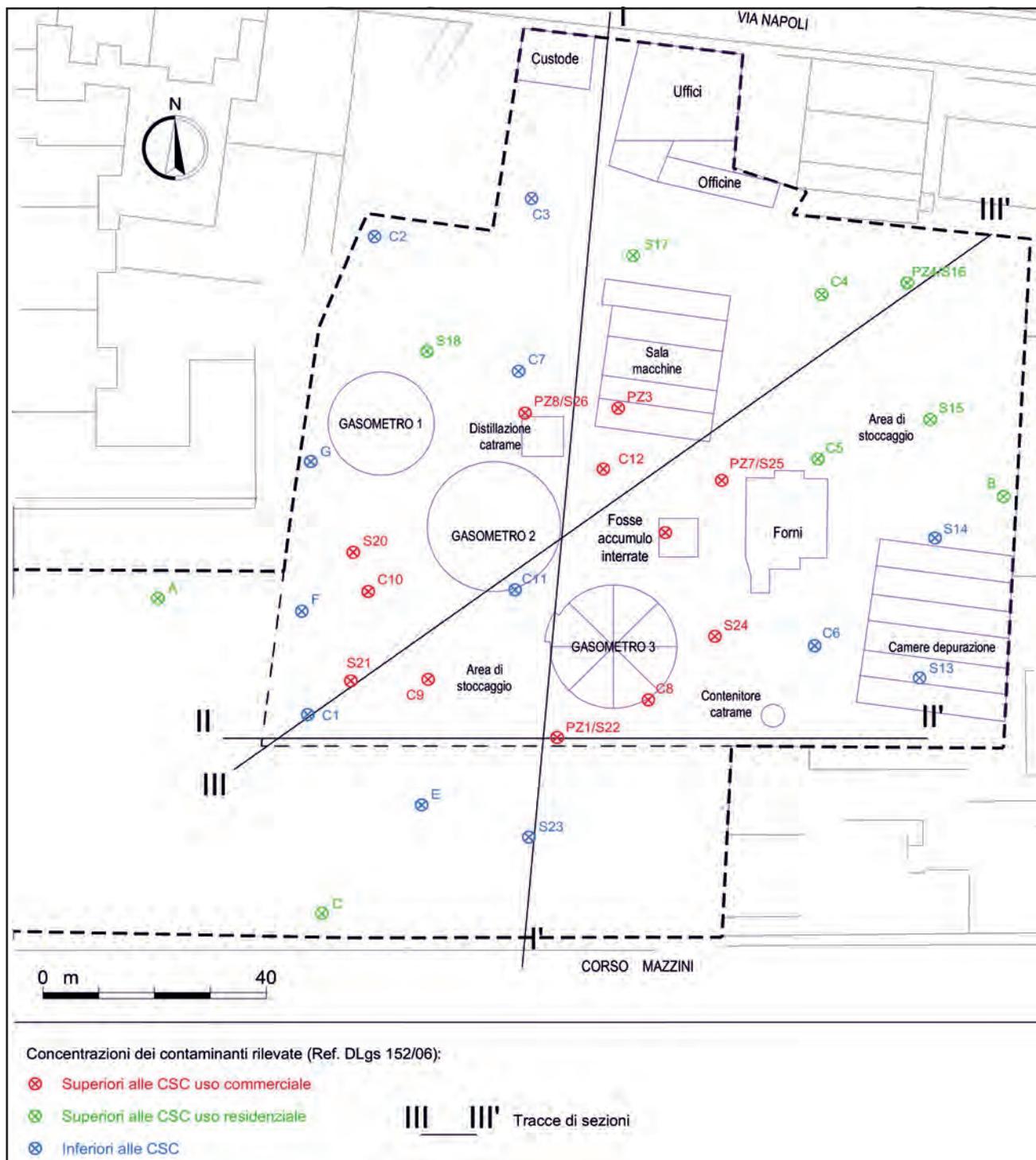


Fig. 19.20 - Planimetria dell'area ex Gasometro di Bari con indicazione delle tracce di sezione di fig.19.22 e dei pozzi nelle cui carote stratigrafiche si sono rilevate, nei primi 2 m dal p.c., concentrazioni dei contaminanti superiori ai valori di soglia (CSC) stabilita dal DLgs. 152/06 (mod., da GOLDER ASSOCIATES, 2007).

- Map of the area of the former Gasometer of Bari showing the lines of the cross-section in fig.19.22 and of the wells where the lithological logs show, in the upper 2 m below the ground level, contaminant concentrations values above the threshold contaminant concentration (TCC), as after the Legislative Decree DLgs. 152/06 (modified after GOLDER ASSOCIATES, 2007).

esterni, con campionamenti di tipo dinamico. I pozzi di monitoraggio interni al sito hanno mostrato la presenza di contaminazione delle acque sotterranee, la quale ha interessato zone che va-

riano a seconda del tipo contaminante. Nelle figure 19.23÷19.28 si riporta la presunta estensione orizzontale della contaminazione per le diverse sostanze, con riferimento alle analisi chimiche del

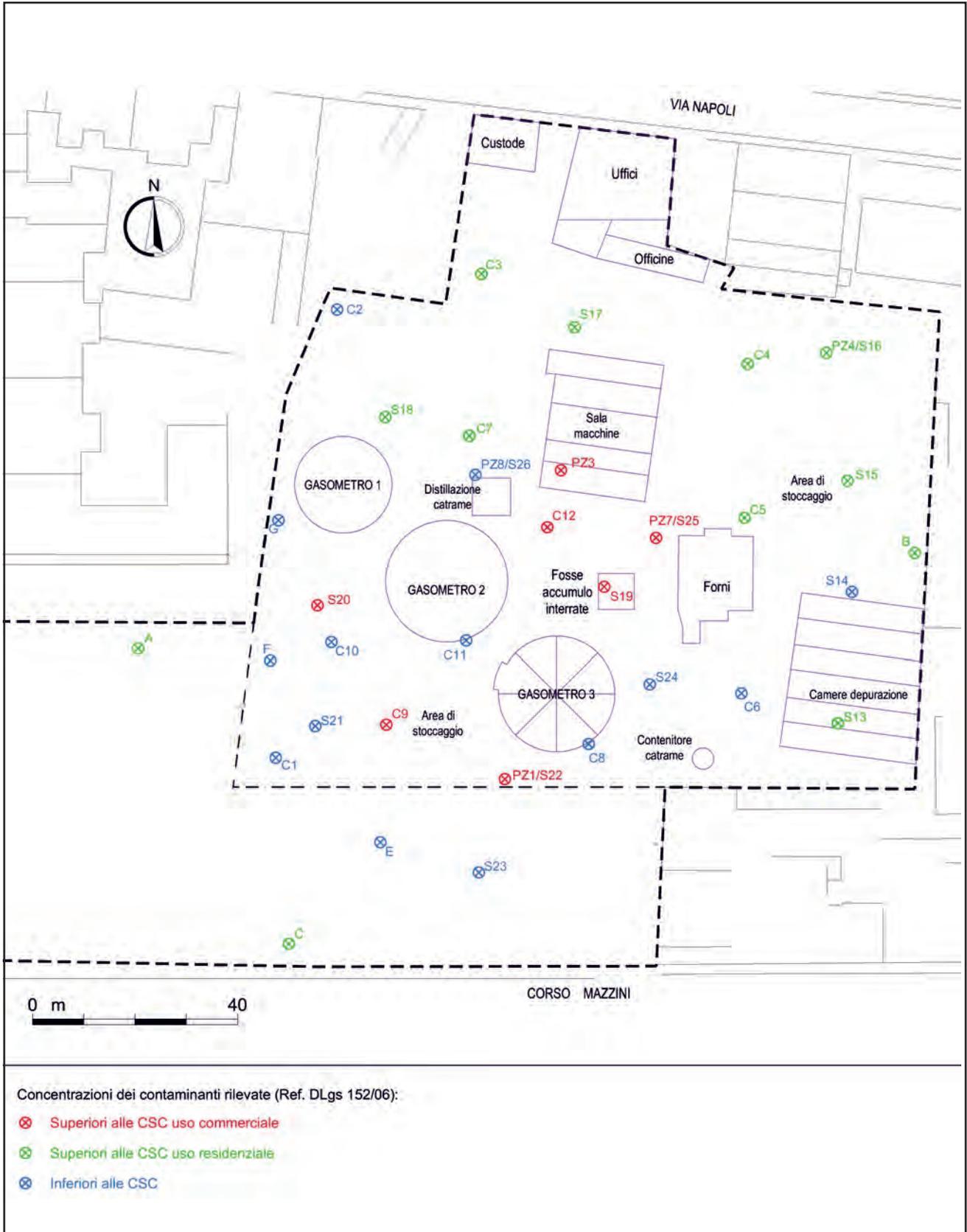


Fig. 19.21 - Planimetria dell'area ex Gasometro di Bari con indicazione dei pozzi nelle cui carote stratigrafiche si sono rilevate, tra i 2 e i 4 m di profondità dal p.c., concentrazioni dei contaminanti superiori ai valori di soglia (CSC) stabilita dal Dlgs. 152/06 (mod., da GOLDER ASSOCIATES, 2007).

- Map of the area of the former Gasometer of Bari with indication of the wells where the lithological logs showed, at depths from 2 to 4 meters below the ground level, contaminant concentration values above the threshold contaminant concentration (TCC) established in the Legislative Decree DLgs. 152/06 (modified after GOLDER ASSOCIATES, 2007).

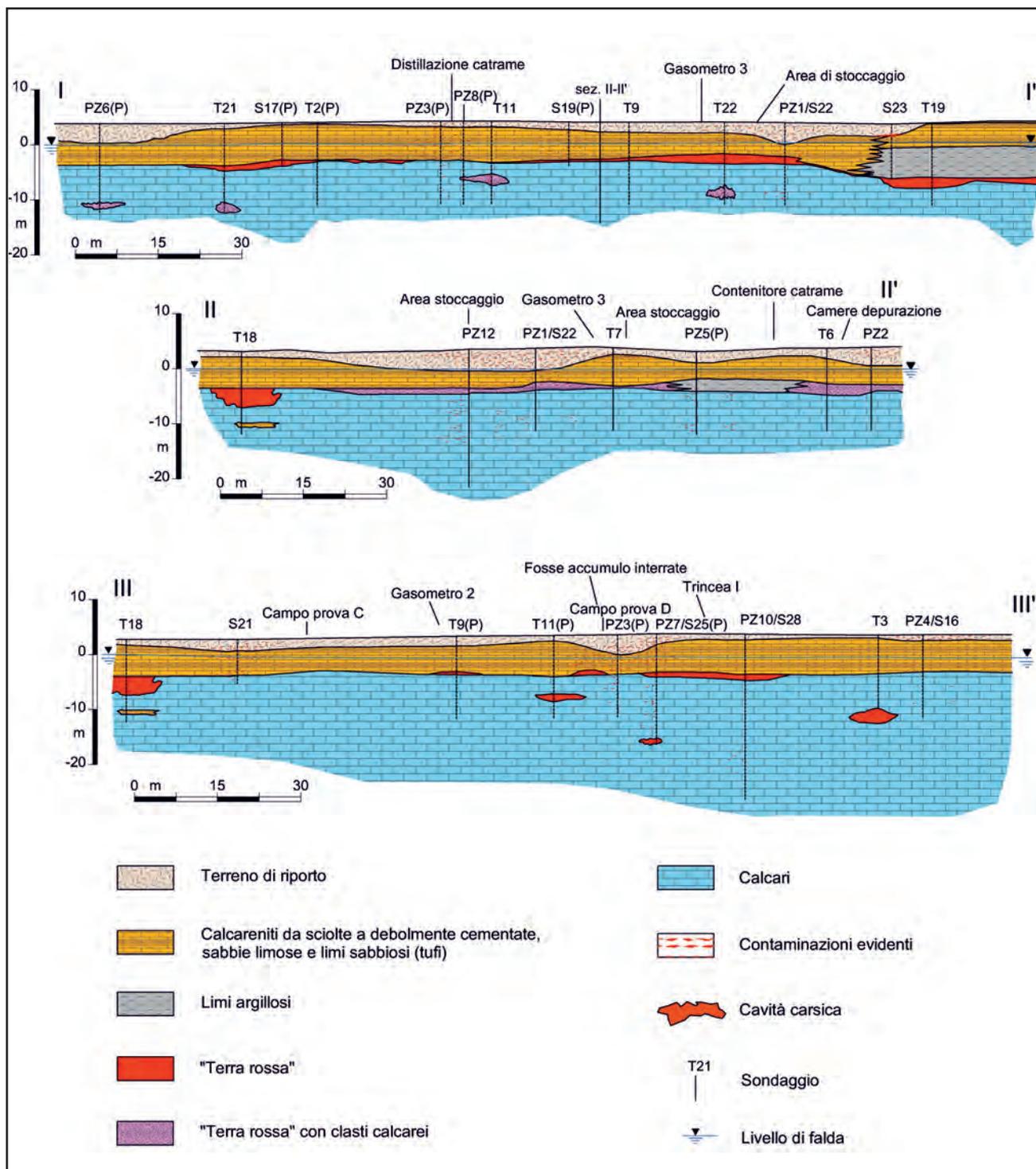


Fig. 19.22 - Sezioni geologiche dell'area ex Gasometro di Bari con indicazione della presunta estensione della contaminazione, desunta sulla base delle analisi in sito dei ritrovamenti dei contaminanti nei campioni di terreno prelevati durante l'esecuzione dei sondaggi (mod., da GOLDERASSOCIATES, 2007).

- Geological cross-sections of the area of the former Gasometro of Bari with indication of the supposed extent of contamination, as inferred from in situ analyses of the contaminants found in the soil samples (modified after GOLDERASSOCIATES, 2007).

2004. Le ultime indagini disponibili indicano, in generale, l'esistenza di un'area al centro del sito ("triangolo PZ3-PZ7-PZ10") caratterizzata da un grado di contaminazione rilevante.

Con particolare riferimento ai metalli pesanti, si è registrata nel 2004 una non conformità alle CSC relative al ferro, sia nella zona centrale che nella zona meridionale, e la presenza, seppur con

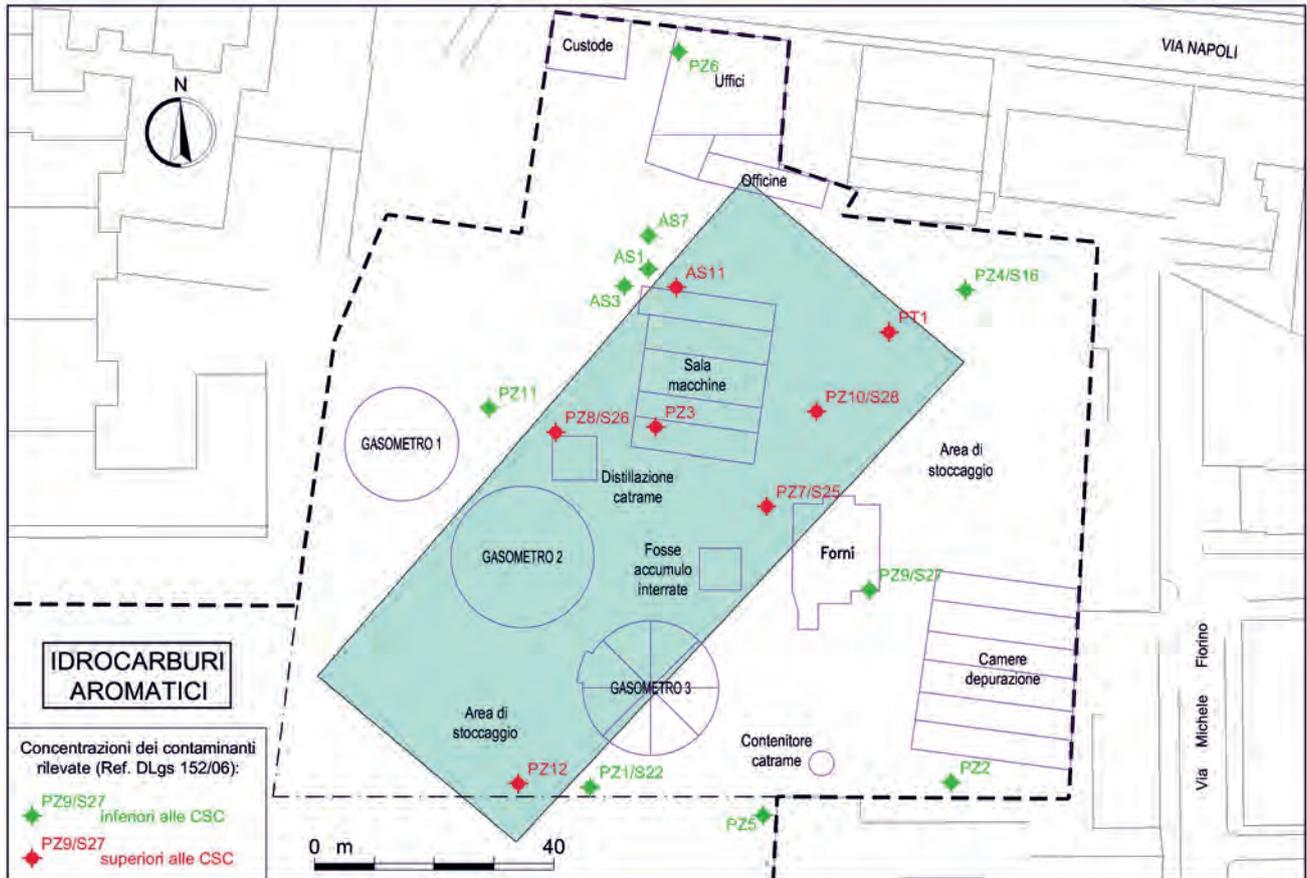


Fig. 19.23 - Planimetria del sito Ex Gasometro di Bari con estensione della contaminazione da idrocarburi aromatici delle acque sotterranee (campionamento di tipo dinamico del febbraio 2004), e indicazione dei superamenti delle soglie di concentrazione (CSC) previste dal D.lgs. 152/06 (mod., da GOLDER ASSOCIATES, 2007).
 - Map of the site of the former Gasometer of Bari with the extent of groundwater contamination due to aromatic hydrocarbons (dynamic sampling in February 2004), and indication of the exceedance in the concentration thresholds (TCC) established in the Legislative Decree D.lgs. 152/06 (modified after GOLDER ASSOCIATES, 2007).

concentrazioni inferiori a quanto stabilito dalle norme, anche di cadmio e piombo (superiori invece alle CSC nell'anno 2002).

Gli idrocarburi aromatici benzene, toluene e xilene sono risultati presenti con concentrazioni molto elevate, analogamente a quanto già riscontrato per i terreni. In particolare, il toluene raggiunge concentrazioni dell'ordine dei 2000 $\mu\text{g}/\text{l}$, mentre il benzene presenta concentrazioni dell'ordine anche di 6000 $\mu\text{g}/\text{l}$. La non conformità alle CSC caratterizza non soltanto gli idrocarburi aromatici, ma anche gli IPA e gli idrocarburi totali.

Le analisi chimiche hanno evidenziato anche la presenza di cianuri e fenoli con concentrazioni al di sopra di quanto previsto dal D.Lgs. 152/06.

Le acque di falda campionate nei pozzi L, M, N e O, (di profondità pari a 15 m e ubicati in fig. 19.17) disposti a valle del sito rispetto al flusso idrico sotterraneo, non hanno presentano evidenze di conta-

minazione. Detta circostanza non assicura tuttavia l'assenza di contaminazione all'esterno del sito, stante la marcata eterogeneità ed anisotropia dell'acquifero e le condizioni entro cui si esplica la circolazione idrica sotterranea. A tal riguardo sarebbe stato necessario ampliare la ricerca dei possibili percorsi di migrazione degli inquinanti a valle del sito, indagando su porzioni più profonde dell'acquifero carbonatico, disponendo pozzi penetranti in acqua di mare, con i quali eseguire determinazioni chimico-fisiche lungo l'intero spessore di falda. Inoltre, sarebbe stato utile disporre di punti di indagine lungo tutto l'arco costiero, includendo quindi anche le zone a Nord e a NO (CHERUBINI & GIASI, 2005). Per gli inquinanti che sono già stati riscontrati in fase libera o in soluzione nelle acque sotterranee, si può quindi affermare che sussiste il rischio che fuoriescano dall'area di pertinenza del sito con percorsi di migrazione non ancora individuati e che successiva-

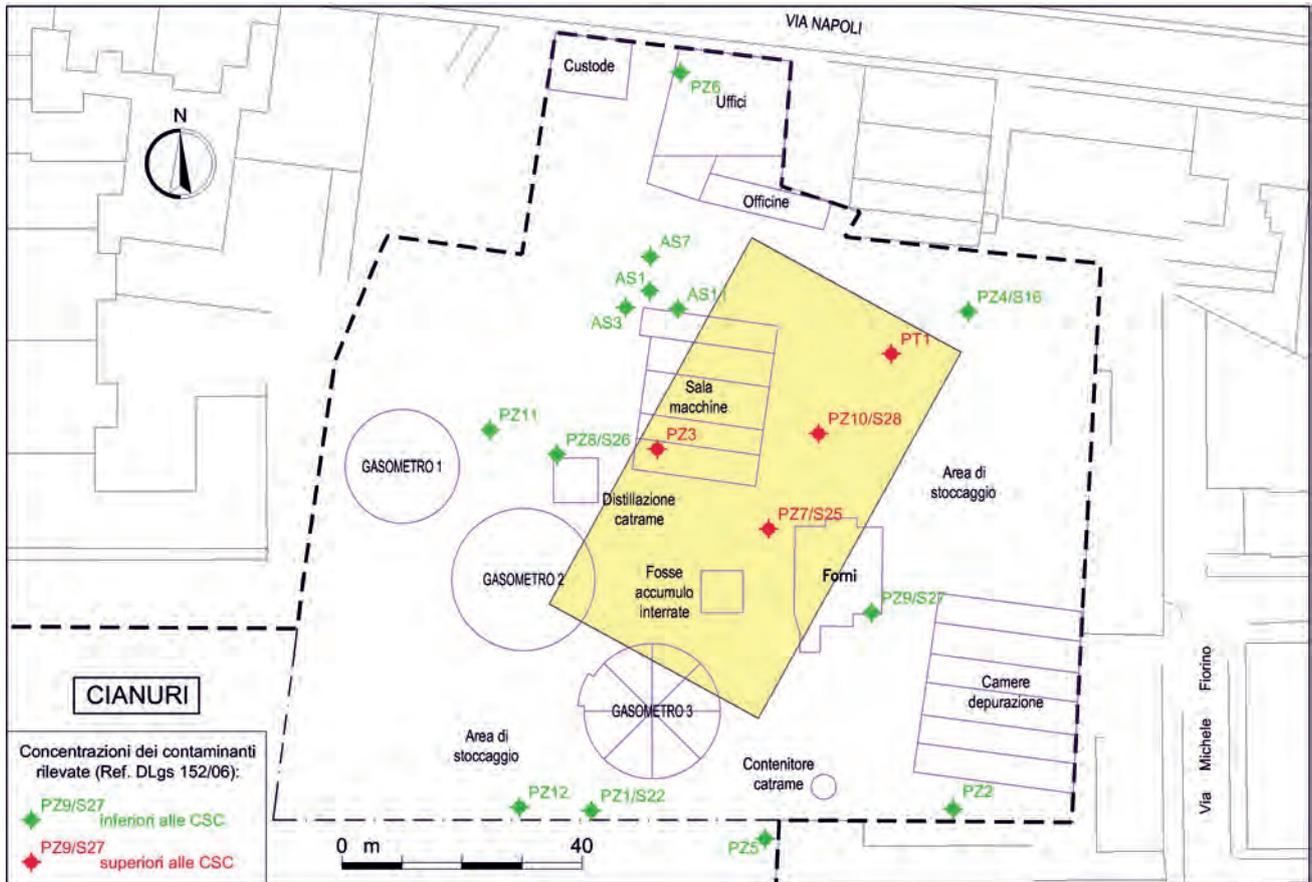


Fig. 19.24 - Planimetria del sito Ex Gasometro di Bari con estensione della contaminazione da cianuri delle acque sotterranee (campionamento di tipo dinamico del febbraio 2004), e indicazione dei superamenti delle soglie di concentrazione (CSC) previste dal Dlgs.152/06 (mod., da GOLDER ASSOCIATES, 2007).

- Map of the site of the former Gasometer of Bari with the extent of groundwater contamination by cyanides (dynamic sampling in February 2004), and indication of the exceedance in the concentration thresholds (TCC) established in the Legislative Decree Dlgs.152/06 (modified after GOLDER ASSOCIATES, 2007).

mente alcuni di essi possano riversarsi a mare, volatilizzarsi in atmosfera o ricadere su altri suoli in caso di prelievo e utilizzo di tali acque.

Assumendo, in via del tutto orientativa, che dopo circa 50 anni di inattività industriale le componenti inquinanti più dense dell'acqua abbiano raggiunto un equilibrio accumulandosi in profondità, non è affatto nota a quanto ammonti ancora la parte idrosolubile dei prodotti inquinanti e dove siano posizionati, per prevederne una possibile interazione con la circolazione della falda profonda carbonatica sorretta dall'acqua marina di intrusione continentale.

19.4.7. - Stato di attuazione degli interventi di bonifica

Il progetto di bonifica, il cui obiettivo è riportare le concentrazioni dei contaminanti al di sotto delle concentrazioni soglia (CSR) calcolate con

l'Analisi di Rischio sito-specifica, prevede la rimozione e lo smaltimento del terreno insaturo (superficiale e profondo) e il sistema PAT (*Pressurized Aeration Tower*) per le acque sotterranee.

La bonifica dei terreni prevede le seguenti fasi:

1. *interventi preliminari*: allestimento del cantiere, pulizia e decespugliamento dell'area, demolizione del muro di cinta sul lato Sud-Ovest dell'area e monitoraggio gas indoor;
2. *realizzazione area di stoccaggio rifiuti*: realizzazione piazzole mediante stesa di strato di sabbia, posa geomembrana in HDPE e pareti prefabbricate;
3. *realizzazione confinamento statico* (installazione tensostruttura) e *dinamico* (installazione sistema di aspirazione e trattamento aria) dell'area di stoccaggio dei rifiuti;
4. *interventi di scavo* articolati in fasi, eseguiti previo confinamento statico e dinamico delle aree oggetto di intervento. In base alle stime riportate nel Progetto Operativo, si prevede di scavare complessi-

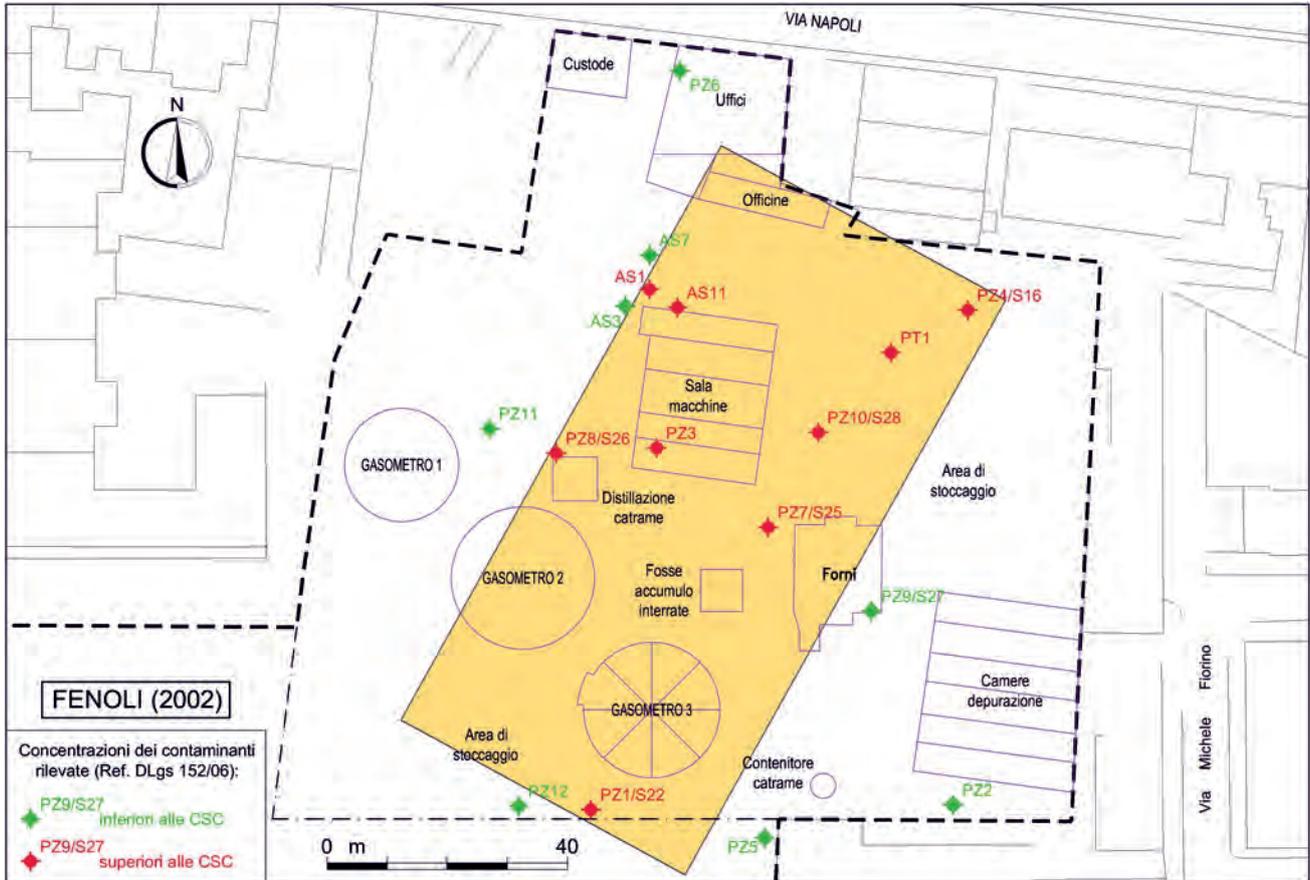


Fig. 19.25 - Planimetria del sito Ex Gasometro di Bari con estensione della contaminazione da fenoli (2002) delle acque sotterranee e indicazione dei superamenti delle soglie di concentrazione (CSC) previste dal D. Lgs.152/06 (mod., da GOLDER ASSOCIATES, 2007).

- Map of the site of the former Gasometer of Bari with the extent of groundwater contamination by phenols (2002) and indication of the exceedance in the concentration thresholds (TCC) established in the Legislative Decree D.lgs.152/06 (modified after GOLDER ASSOCIATES, 2007).

vamente circa 19.583 m³ di terreno al fine di rimuovere la contaminazione riscontrata in fase di caratterizzazione e le porzioni di terreno non conformi alle CSR calcolate;

5. *classificazione dei materiali oggetto di scavo e avvio a idoneo impianto di smaltimento/trattamento;*
6. *verifica obiettivi di bonifica dei terreni:* campionamento delle pareti e del fondo degli scavi;
7. *rinterro degli scavi con idoneo materiale certificato.*

Completati gli interventi di bonifica dei terreni ed il ripristino mediante ritombamento degli scavi, si procederà con gli interventi di bonifica della falda. Tali interventi prevedono l'esecuzione di alcune indagini integrative finalizzate a definire la distribuzione orizzontale e verticale del DNAPL all'interno del substrato roccioso fratturato. Successivamente è prevista l'installazione in sito di un impianto pilota con sistema PAT, che prevede l'immissione di acqua sovrassatura di ossigeno nell'ac-

qua sotterranea in grado di favorire i processi di biodegradazione.

In estrema sintesi, l'impianto pilota risulta schematicamente caratterizzato dai seguenti elementi:

- sistema di emungimento delle acque sotterranee contaminate;
- sistema di trattamento delle acque sotterranee (filtro meccanico e filtri a carboni attivi);
- bombole di ossigeno;
- colonna di ossigenazione delle acque trattate;
- sistema di distribuzione ed iniezione in falda delle acque trattate ed "arricchite di ossigeno".

L'installazione del sistema pilota è finalizzata a valutare le effettive prestazioni e selezionare i parametri di funzionamento dell'impianto e quindi all'installazione dell'impianto "full scale".

Durante i lavori di bonifica il Comune di Bari comunica periodicamente alla cittadinanza le attività svolte, tramite *newsletter* pubblicate con cadenza

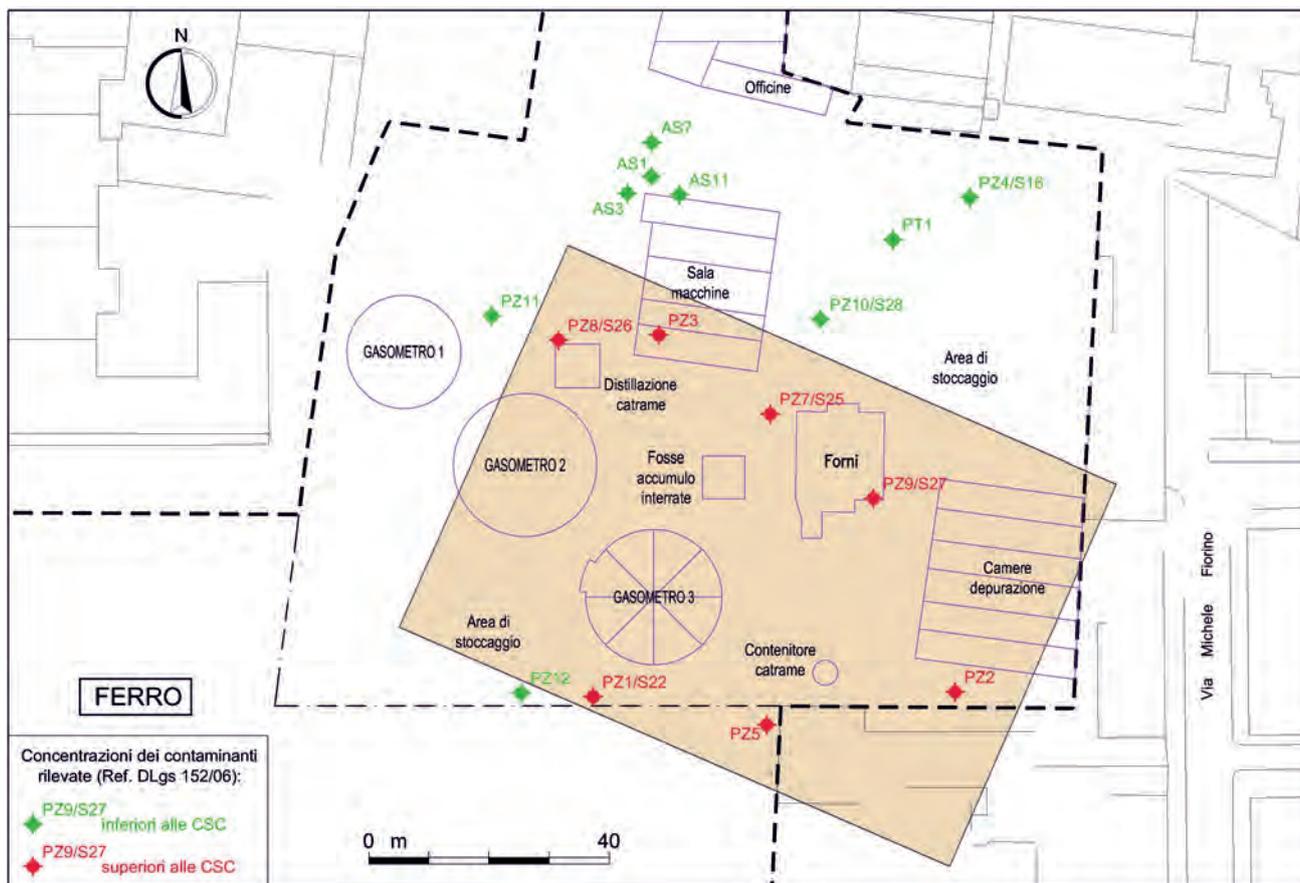


Fig. 19.26 - Planimetria del sito Ex Gasometro di Bari con estensione della contaminazione da ferro delle acque sotterranee (campionamento di tipo dinamico del febbraio 2004), e indicazione dei superamenti delle soglie di concentrazione (CSC) previste dal Dlgs.152/06 (mod., da GOLDER ASSOCIATES, 2007).

- Map of the site of the former Gasometer of Bari with the extent of groundwater contamination by iron (dynamic sampling in February 2004), and indication of the exceedance in concentration thresholds (TCC) established in the Legislative Decree Dlgs.152/06 (modified after GOLDER ASSOCIATES, 2007).

mensile (http://www.domeus.it/groups/bonifica_gasometro_bari). Negli ultimi mesi dell'anno 2011 si sono svolti gli interventi previsti ai punti 1, 2 e 3. Successivamente sono iniziati i lavori di scavo previsti al punto 4, durante i quali si sono verificate circostanze non previste, quali:

- il ritrovamento di cemento amianto a profondità variabile tra gli 80 e i 220 cm dal p.c., per il quale si è dovuta attivare la procedura di rimozione e smaltimento prevista per legge. Si sono rimossi circa 498 ton di terreno frammisto a materiale contenente cemento amianto;

- il ritrovamento di una vasca in calcestruzzo armato delle dimensioni in pianta di 22x8 m e dell'altezza di 4 m, ricoperta con una soletta in cls. La vasca si presentava colma di catrame (per circa 1-1,5 m di altezza) e, nella parte bassa, di materiali inerti;

- rinvenimento e rimozione di un ordigno bellico inesplosivo risalente alla seconda guerra mondiale.

19.5. - IL SIN DI BRINDISI

Il Sito Inquinato di Interesse Nazionale (SIN) di Brindisi è stato decretato con Legge 426/1998 e, come tale, perimetrato dal Ministero dell'Ambiente con Decreto ministeriale del 10/01/2000; ciò in ragione sia della densità della popolazione insediata nella zona, sia dell'estensione dell'area interessata. Esso si estende approssimativamente per un'area pari a 11.000 ha e comprende, oltre ad aree agricole ed industriali, anche 5.500 ha di aree marine (fig. 19.29). Esso interessa la piana compresa fra il nucleo urbano della città di Brindisi e la Centrale Termoelettrica Enel di Cerano. I limiti dell'area sui fronti orientale ed occidentale sono costituiti rispettivamente dal Mare Adriatico e dalla SS 613, che corre sub-parallela alla costa (SOGESID, 2009).

Nella parte più orientale del SIN di Brindisi vi

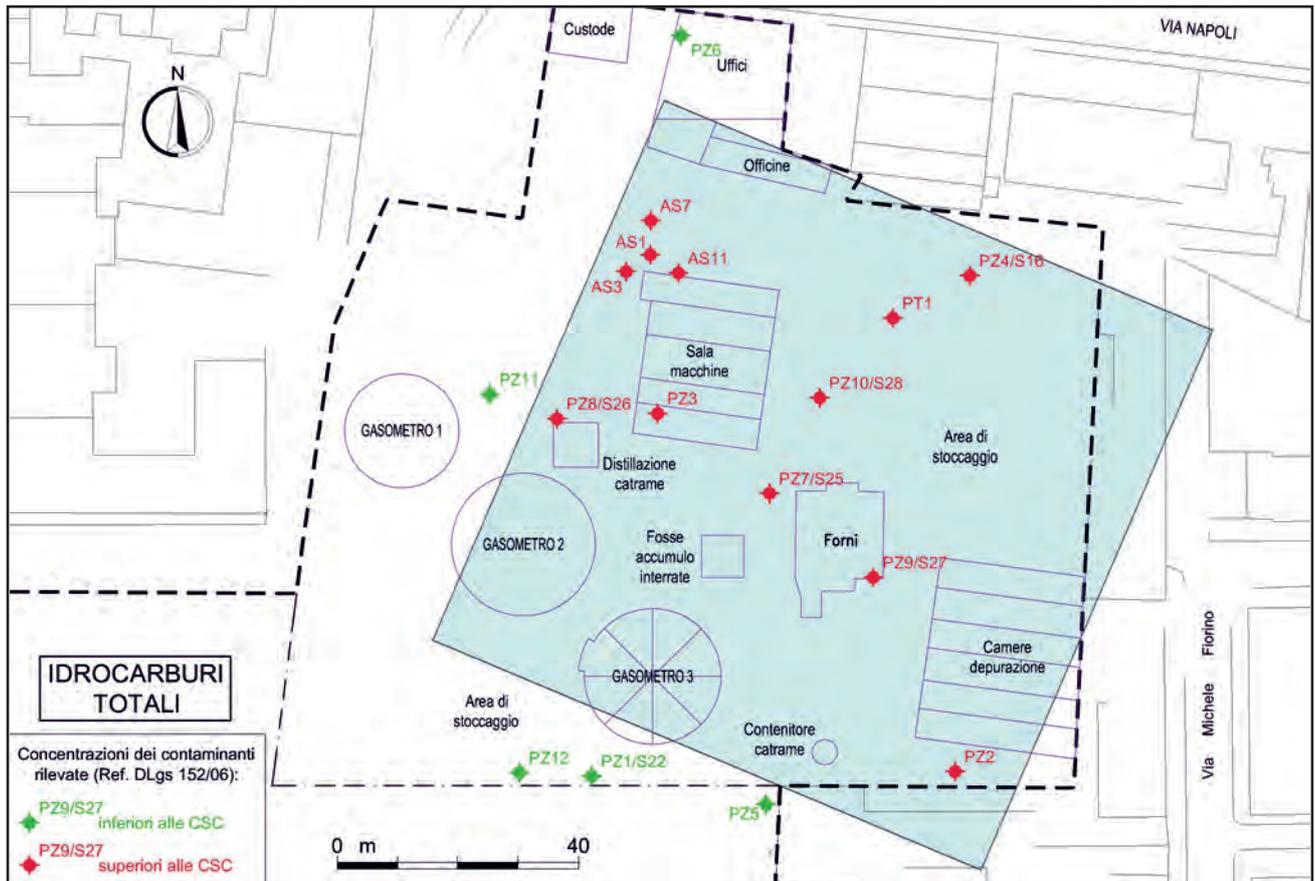


Fig. 19.28 - Planimetria del sito Ex Gasometro di Bari con estensione della contaminazione da idrocarburi totali delle acque sotterranee (campionamento di tipo dinamico del febbraio 2004), e indicazione dei superamenti delle soglie di concentrazione (CSC) previste dal DLgs.152/06 (mod., da GOLDR ASSOCIATES, 2007).
 - Map of the site of the former Gasometer of Bari with extent of groundwater contamination by total hydrocarbons (dynamic sampling in February 2004), and indication of the exceedance in concentration thresholds (TCC) established in the Legislative Decree DLgs.152/06 (modified after GOLDR ASSOCIATES, 2007).

include il Porto di Brindisi e si spinge al largo della costa per una distanza di circa 3 km, occupando un'area complessiva di circa 5.662 ha.

Le indagini sulle acque sotterranee dell'area hanno evidenziato diversi tipi di contaminazione, ed in particolare:

- per lo Stabilimento Petrolchimico la contaminazione è dovuta a diversi metalli, fluoruri, nitriti e boro, idrocarburi totali (diffusamente sull'intera area), solventi aromatici (benzene), IPA, composti alifatici alogenati, cloro-benzene, clorofenoli e ammine aromatiche;
- per lo Stabilimento Sanofi – Aventis la contaminazione è dovuta a solfati, nitriti, alluminio, cadmio, ferro, nichel, piombo, metalli pesanti, composti organici aromatici alifatici clorurati cancerogeni e non cancerogeni;
- per le aree ex- Eurogen (Edipower e Enel) la contaminazione è dovuta a metalli, composti alifatici

clorurati, alifatici alogenati, IPA e cloroformio;

- per le aree adiacenti l'asse attrezzato e la centrale Enel di Cerano la contaminazione è dovuta a manganese, selenio, idrocarburi totali e nichel.

In alcune aree, presso il Petrolchimico e lo stabilimento farmaceutico Sanofi-Aventis, sono stati previsti alcuni interventi di Messa in Sicurezza di Emergenza basati su "barriere idrauliche".

Il 18 Dicembre 2007 un Accordo di Programma tra Regione Puglia e Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, ha stabilito gli interventi di messa in sicurezza e bonifica delle aree comprese nel SIN Brindisi. In particolare il danno ambientale è stato quantificato in circa 200 milioni di euro. In attuazione di quanto previsto nell'Accordo di Programma, la Sogesid S.p.A. è stata incaricata delle attività inerenti la progettazione e realizzazione degli interventi di bonifica della falda e dell'area marino costiera.

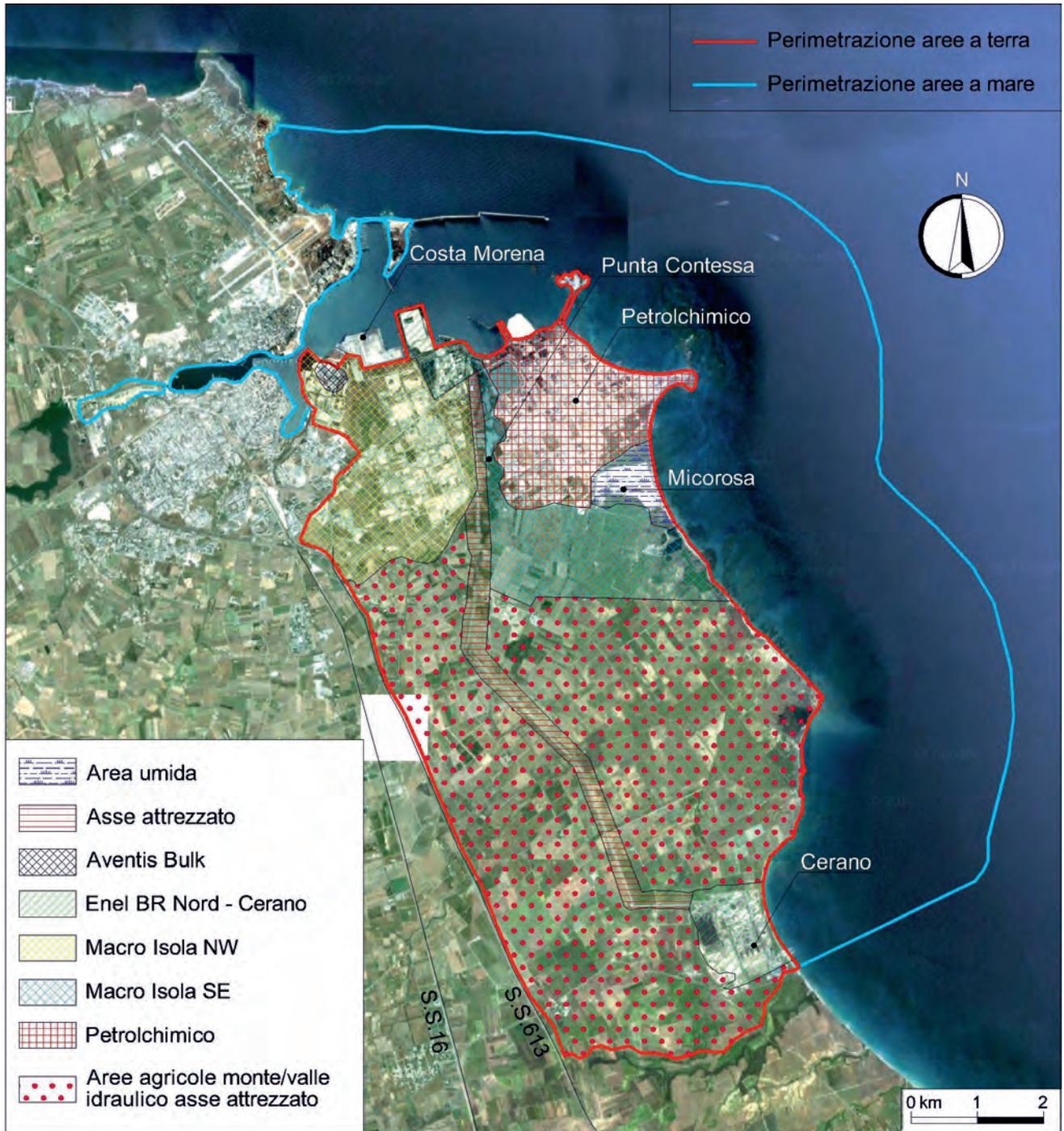


Fig. 19.29 - Perimetrazione del Sito di Interesse Nazionale (SIN) di Brindisi e indicazione delle aree e degli stabilimenti industriali ricadenti al suo interno (mod., da SOGESID, 2009).

- Perimeter of the site of national interest (SIN) of Brindisi and indication of areas and industrial plants located inside(modified after SOGESID, 2009).

Ai fini della progettazione è stato necessario stabilire un quadro dell'assetto stratigrafico dell'area, individuando le caratteristiche dei diversi livelli. A partire dal piano campagna, tralasciando i depositi superficiali, sono stati individuati i seguenti litotipi:

- Depositi marini terrazzati, noti come unità "Panchina", costituita da uno strato sabbioso-limoso superficiale con diffusa e disomogenea presenza di livelli cementati, passante verso il basso a banchi di calcarenite;
- Limo sabbioso con frazione argillosa plastica cre-

scente verso il basso che costituisce lo strato di transizione tra i Depositi Marini Terrazzati e la formazione argillosa di base;

- Argille grigio-azzurre, caratterizzate da coefficienti di permeabilità inferiori a 10^{-9} m/s.

I terreni sovrastanti le argille azzurre sono sede di una falda superficiale (cap. 16), che rappresenta, nella sostanza, il recettore finale della contaminazione riscontrata.

Il progetto prevede la realizzazione di un diaframma plastico impermeabile (fig. 19.30), di profondità tale da penetrare per circa due metri nelle argille grigio-azzurre di base della falda superficiale presente, al fine di evitare che la contaminazione raggiunga il mare (SOGESID, 2009).

Le tipologie di marginamento impermeabile previste sono:

- diaframma semiplastico dello spessore di 0,80 m, con fanghi autoindurenti e geomembrana in polietilene ad alta densità (HDPE) dello spessore di 2,0 mm, messo in opera con teli della larghezza di 5 m saldati tra loro;

- diaframma semiplastico dello spessore di 1,00 m realizzato con la tecnica del CSM (*Cutter Soil Mixing*);

- schermo di pali realizzati mediante jet grouting, eventualmente intasato con miscela silicatica.

A monte dei diaframmi, è prevista la realizzazione di un sistema di captazione delle acque di falda mediante trincee drenanti, per evitare l'innalzamento della stessa e la formazione di un gradiente piezometrico verso il mare, oltre che ridurre il rischio di filtrazione dei contaminanti al di sotto del diaframma impermeabile. Le acque contaminate captate saranno convogliate ad un opportuno impianto di depurazione e quindi scaricate a mare o riutilizzate nel ciclo produttivo degli stabilimenti industriali.

19.5.1. - Il caso della Sanofi Aventis S.p.A. di Brindisi

Lo stabilimento farmaceutico della Sanofi Aventis di Brindisi, ubicato a brevissima distanza dal Seno di Levante del Porto di Brindisi (figg. 19.31, 19.32), è un sito industriale, ampio circa



Fig. 19.30 - Ortofoto indicante l'ubicazione delle opere di contenimento e drenaggio per la messa in sicurezza e bonifica della falda superficiale appartenente al SIN di Brindisi (da SOGESID, 2009).

- Orthophoto showing the position of the retaining and draining systems acting as reclamation and remediation interventions for the shallow groundwater belonging to the Brindisi SIN (from SOGESID, 2009).

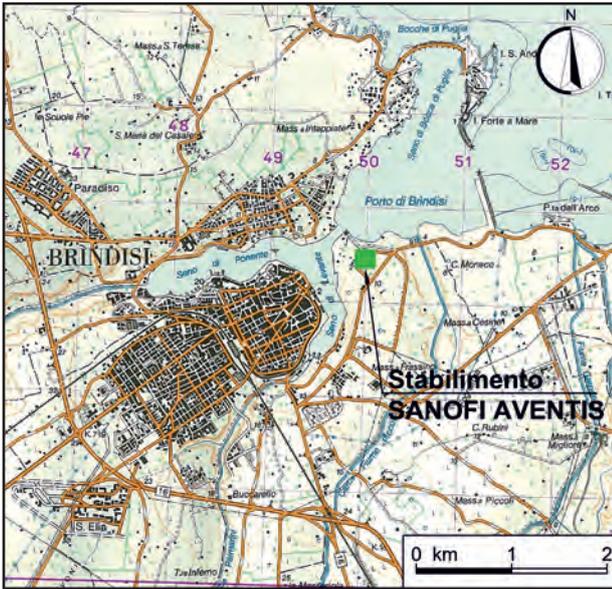


Fig. 19.31 - Ubicazione dello Stabilimento farmaceutico Sanofi Aventis di Brindisi.

- Location of the Sanofi Aventis pharmaceutical plant at Brindisi.

145.000 m². L'area costiera sottostante lo stabilimento farmaceutico si trova nella porzione di valle dell'area industriale di Brindisi ed è caratterizzata da una falda freatica superficiale ed una falda profonda, la prima circolante nei depositi prevalentemente sabbiosi sovrastanti il potente strato di argille pleistoceniche, la seconda galleggiante su acqua di mare e circolante in pressione negli ammassi calcarei cretacei sottostanti. Nella falda superficiale è stata rinvenuta la presenza di cloroformio, un solvente organico clorurato, utilizzato nel processo produttivo dello stabilimento, il quale produce principi attivi farmaceutici, facendo uso anche di altre numerose materie prime.

Nel 2001, la allora Società Aventis Bulk affidò al prof. V. Cotecchia l'incarico di progettazione ed interpretazione delle indagini integrative finalizzate alla Caratterizzazione Ambientale dell'area interessata dallo stabilimento, svolte a tutto il 2005 (COTECCHIA 2001, 2004). Nella trattazione che segue non saranno però resi pubblici i dati e i risultati delle ricerche derivanti dallo studio condotto in tale periodo, in quanto la Società Sanofi Aventis ha diffidato l'autore alla diffusione dei suddetti dati. Ne consegue che le fonti utili alla stesura delle pagine che seguono derivano dallo

“Studio di fattibilità per la realizzazione degli interventi di Messa in Sicurezza e Bonifica della falda acquifera nel Sito di Interesse Nazionale di Brindisi”, condotto dalla Sogesid S.p.A. nel 2009 e dai “Rapporti sulle attività svolte” negli anni 2008 e 2009 nell'ambito della Messa in Sicurezza d'Emergenza, redatti dalla società Sanofi Aventis e partecipati presso il Servizio Ciclo dei Rifiuti e Bonifica della Regione Puglia.

19.5.1.1. - Il cloroformio nelle acque sotterranee

Il cloroformio (triclorometano) è un composto organico la cui molecola deriva da quella del metano (CH₄), nel quale tre idrogeni sono sostituiti da altrettanti atomi di cloro (CHCl₃). Fu scoperto nel 1831 dal chimico americano Samuel Guthrie. Il composto sostituiva egregiamente la morfina e di conseguenza nei successivi anni fu largamente impiegato come anestetico, sino all'adozione, nel 1847, dell'etere, una sostanza più sicura. Oggi, come anestetico, è stato sostituito da composti come l'alotano, l'isoflurano, e il sevoflurano. In seguito il cloroformio è stato largamente usato come solvente chimico in una varietà di processi industriali, ed essenzialmente



Fig. 19.32 - Ortofoto con ubicazione dello stabilimento farmaceutico Sanofi Aventis (da maps.Google.com).

- Orthophoto showing the location of the Sanofi Aventis pharmaceutical plant (source:maps.Google.com).

nelle industrie chimiche. Il prodotto, in presenza di ossigeno e luce solare, si trasforma in un intermedio fosgene, un gas tossico, storicamente utilizzato come arma chimica letale nella prima guerra mondiale.

Il cloroformio è caratterizzato da una densità superiore a quella dell'acqua, per cui, in caso di presenza di fase libera (DNAPL), esso tende a penetrare in profondità nell'acquifero, fino al raggiungimento di strati impermeabili, rendendone così difficoltosa l'individuazione e il trattamento. Ha una solubilità in acqua dell'ordine delle migliaia di mg/l (8200 mg/l), sicché uno sversamento localizzato può comportare la propagazione della contaminazione in aree molto estese. Poiché la concentrazione limite accettabile nelle acque sotterranee è molto bassa, pari a 0.15 µg/l (DM 471/99), i processi di trattamento devono essere particolarmente efficaci, capaci di abbattere significativamente le concentrazioni.

19.5.1.2. - Inquadramento geologico ed idrogeologico dello stabilimento in parola

Nella Piana di Brindisi il ciclo sedimentario trasgressivo pleistocenico si è svolto dando luogo ad una successione di depositi marini, il cui spessore, variabile in funzione della profondità del substrato calcareo cretaceo, raggiunge gli 80 metri circa (cap. 16). I sedimenti sabbioso argillosi pleistocenici (Formazione di Gallipoli) presenti nell'area dello stabilimento, benché poco permeabili, sono sede di una falda acquifera superficiale.

L'assetto stratigrafico dell'area in cui ha sede lo stabilimento farmaceutico, la cui quota del piano campagna si aggira sui 9-10 metri sul livello mare, comprende dal basso verso l'alto le seguenti formazioni:

- Calcari, calcari dolomitici e dolomie grigio chiare o bianco nocciola, la cui età è ascrivibile al Cretaceo (Calcarea di Altamura), rappresentanti il basamento dei più recenti sedimenti plio-pleistocenici;

- Calcareni bianco-giallastre e calcari teneri tipo "panchina", (spessore massimo pari 30 metri circa). Questa formazione è direttamente trasgressiva sui calcari cretacei e l'età è riferibile al

Pleistocene;

- Argille e argille sabbiose grigio-azzurre (spessori di circa 40 metri), di età riferibile al Pleistocene;

- Sabbie e ghiaie (spessori di 10-15 metri) con sparsi, sempre nella parte alta, ciottoli di natura calcarea o calcarenitica. A volte fra le sabbie superiori e le argille sottostanti si interpone un banco di calcareniti, mai molto potente.

L'assetto stratigrafico dell'area favorisce la presenza di un falda superficiale nei sedimenti a grana fine, le cui proprietà geometriche e idrogeologiche sono condizionate dalla variabilità lungo la verticale della permeabilità degli strati componenti la formazione, permeabile per porosità. La falda superficiale è sostenuta alla base dalle argille grigio-azzurre.

Nei calcari fratturati e carsici del Cretaceo, permeabili per carsismo e fratturazione, è presente la falda profonda, sostenuta alla base da acqua di mare di intrusione continentale. Le due distinte falde, quella definita superficiale e quella profonda poc'anzi detta, sono quindi separate dal banco di forte spessore di argille pleistoceniche (fig. 19.33).

19.5.1.3. - Caratterizzazione della falda superficiale e del relativo stato di inquinamento

L'area occupata dallo stabilimento Aventis di Brindisi ricade nella zona più prossima alla costa dell'estesa falda superficiale presente nella Piana di Brindisi (cap. 16). L'acquifero interessato, costituito da sabbie e argille, è dotato di bassa permeabilità e risente agevolmente degli eventi termo-pluviometrici. Il deflusso sotterraneo si svolge a pelo libero ed è limitato inferiormente dal potente strato impermeabile riconducibile alla formazione delle "Argille azzurre" Calabriere. La falda è caratterizzata da una superficie freatica molto prossima al piano campagna (5-6 metri) e risulta dunque molto vulnerabile all'inquinamento proveniente dalla superficie. Inoltre, in prossimità del litorale, è soggetta al fenomeno dell'intrusione marina continentale, in quanto il tetto delle argille grigio-azzurre impermeabili giace a quote inferiori a quelle del livello mare.

Le escursioni dei livelli della falda superficiale

risultano dell'ordine del metro ed il coefficiente di permeabilità è in genere compreso nell'intervallo 10^{-4} e 10^{-6} cm/s, con tendenza alla riduzione con l'aumentare della profondità.

Il potente strato di argille pleistoceniche rappresenta una barriera totalmente impermeabile, che impedisce l'influenza reciproca tra la falda superficiale e quella profonda contenuta nei calcari del Cretaceo.

In figura 19.34 sono riportate le linee isopieziche ricavate dalle misure eseguite nel 2004 (condizione indisturbata) e nel 2007 (ricostruita in condizioni dinamiche in presenza degli emungimenti attuati nell'ambito della Messa in Sicurezza d'Emergenza; par. 19.5.1.4); (SOGESID, 2009). Nella condizione indisturbata le linee di flusso, nell'ipotesi di acquifero isotropo, hanno direzione preferenziale verso il mare (N e NO). Nella zona centrorientale, ossia in corrispondenza degli impianti chimici della produzione industriale dello stabilimento, si osservano le massime altezze piezometriche. Detta anomalia delle linee isopieziche è da attribuire alla copresenza di fattori litostratigrafici, quali la conformazione del letto argilloso, e sversamenti non noti che, nell'area, possono aver costituito localmente fonte di ricarica per la falda in parola. Ulteriori anomalie nei risultati piezometrici possono essere stati causati da pompaggi antro-

pici presenti disordinatamente negli insediamenti produttivi di tutta l'area industriale.

Dal "Rapporto sulle attività svolte da Gennaio a Dicembre 2008" redatto dalla Sanofi Aventis (consultata presso il competente Ufficio della Regione Puglia), risulterebbe che, in seguito sia ad attività di manutenzione eseguite per eliminare perdite o rischi di perdite dalle reti interrato, sia alla attivazione, da Gennaio 2007, dell'impianto di emungimento automatizzato per la messa in sicurezza nelle zone maggiormente inquinate, la piezometria sia variata con la scomparsa dell'alto piezometrico della falda.

Le determinazioni chimiche relative al periodo 2008-2009 indicano un generale degrado qualitativo dell'acquifero superficiale nell'area dello stabilimento; le acque sotterranee, oltre ad essere caratterizzate da elevata salinità e facies idrochimica prevalentemente cloruro-sodica, determinata dal fenomeno dello spray marino e dall'intrusione marina nel continente, sono risultate contaminate da sostanze inorganiche quali cloruri, solfati e nitrati, da metalli quali ferro, alluminio, manganese, nichel, cadmio, piombo, mercurio e da semimetalli come antimonio e arsenico, tutti con concentrazioni spesso superiori ai limiti normativi. Valori elevati della concentrazione di alcuni metalli, quali Ferro ed Alluminio, può essere in parte attribuita a fenomeni naturali, dovuti alla dissoluzione e alla

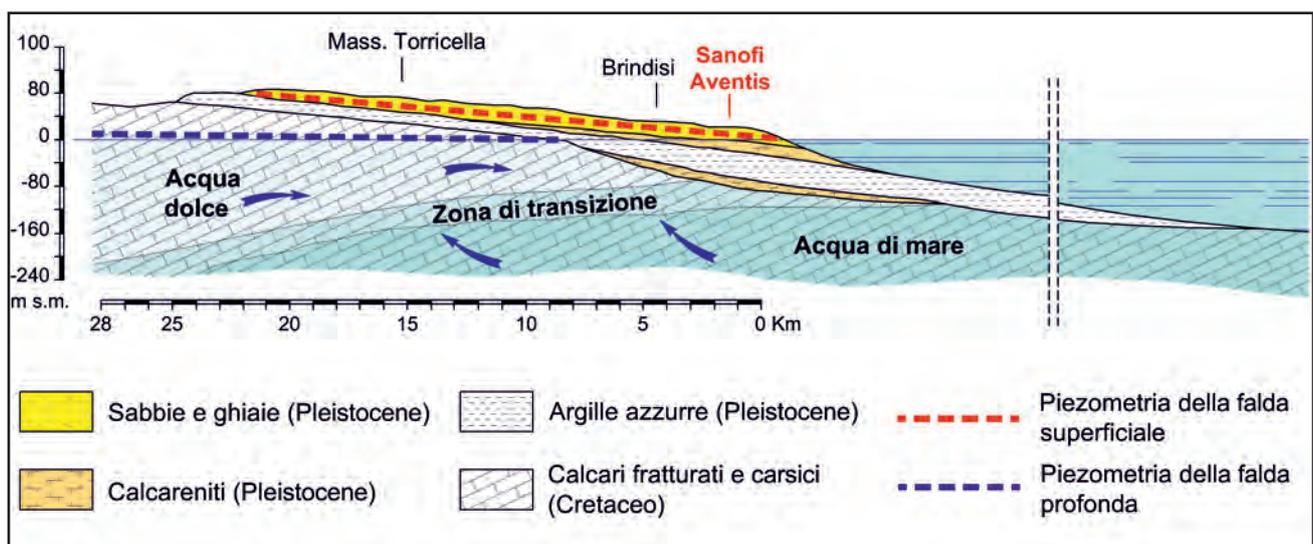


Fig. 19.33 - Sezione idrogeologica schematica della Piana brindisina.
- Schematic hydro-geological cross-section of the Brindisi plain.

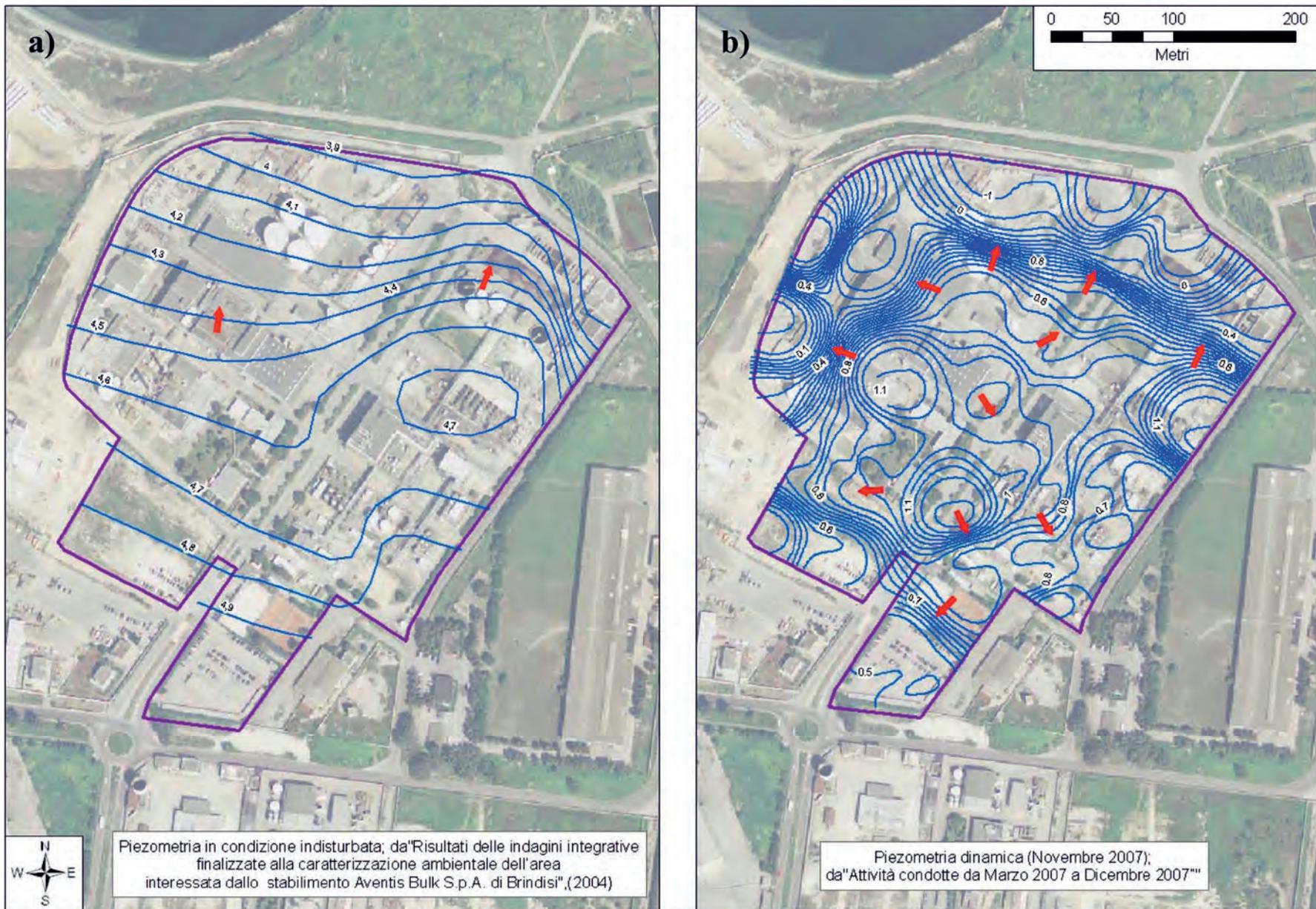


Fig. 19.34 -Piezometrie della falda superficiale dello Stabilimento Sanofi Aventis, ricostruite in condizioni indisturbate (a) ed in condizioni dinamiche in presenza degli emungimenti attuati nell'ambito della MISE (b) (da SOGESID, 2009).

- Piezometric heads of the shallow groundwater that is located under the Sanofi Aventis Factory, referred to both undisturbed conditions (a) and dynamic conditions when water extractions for the MISE were performed (b) (from SOGESID, 2009).

precipitazione dei minerali ferrosi presenti nella matrice dell'acquifero. La presenza di altri metalli, con concentrazioni spesso superiori a limiti normativi di riferimento, quali Nichel, Cadmio e Piombo, non può che essere di origine antropica, probabilmente esterna al sito.

Per quanto riguarda il cloroformio, le ultime campagne di indagini considerate nel presente lavoro, ossia quelle condotte dalla Sanofi Aventis nel 2008 e nel 2009, mostrano concentrazioni dell'inquinante anche superiori ai 20.000 µg/l, con punte di 591.000 µg/l circa (fig. 19.35). La forte variabilità dell'entità dell'inquinamento riscontrata è probabilmente connessa alla modalità con cui l'inquinante si propaga in falda in relazione alla tempistica e alle circostanze in cui avviene il prelievo dei campioni da sottoporre alle analisi chimiche. Le più alte concentrazioni si sono riscontrate nella zona Sud-Est del sito, ove vi sono gli impianti chimici di produzione e l'area di trattamento acque e fanghi. È lecito ipotizzare che, a causa della maggiore densità del cloroformio rispetto all'acqua e alla probabile presenza di ribassamenti del tetto della formazione argillosa nell'area, possano essersi verificati accumuli di inquinante non miscelato in tali aree sul fondo dell'acquifero. Ipotizzando che non vi siano ulteriori apporti di cloroformio dalla superficie, in assenza di prelievi, è possibile presumere che si verifichi una naturale azione di dilavamento della falda, seppur lenta, a causa della ridissoluzione dell'inquinante per diffusione nella fase acquosa. Tali cicli di lavaggio (rimozione) con conseguente ridissoluzione dal basso, possono essere accelerati mediante gli emungimenti; a parità di portata estratta, diventa determinante, ai fini della quantità di cloroformio ritrovata nei campioni prelevati, la distanza della base dei pozzi di prelievo dalle aree di accumulo. È molto probabile che alcuni pozzi emungano proprio nelle zone di accumulo dell'inquinante, giustificando in tal modo le concentrazioni di picco rilevate.

Tenuto conto, inoltre, che le altezze piezometriche della falda superficiale sono superiori a quelle della falda profonda, si potrebbe verificare il riversamento delle acque della prima, contaminata, nella seconda, qualora si instauri una comunicazione idraulica tra i due acquiferi. Anche se il potente

banco argilloso che separa i due acquiferi garantisce in generale una protezione all'inquinamento dell'acquifero profondo cretatico, il rischio di riversamento delle acque della falda superficiale nella falda profonda è possibile allorquando si dovessero realizzare pozzi profondi senza prevedere le necessarie e idonee opere di impermeabilizzazione che isolino i due corpi idrici lungo la verticale del pozzo stesso. Dai dati della Sanofi Aventis resisi disponibili per gli anni 2008 e 2009, si riscontrano a tal proposito superamenti del valore di soglia normativo (0,15 µg/l) per il cloroformio per due pozzi profondi (P1 e pozzo 2) che si attestano nell'acquifero carbonatico. In particolare, le concentrazioni medie nel pozzo P1 nel 2008 e nel 2009 sono risultate rispettivamente pari a 2,13 µg/l e 1,25 µg/l. Il pozzo 2 ha fatto invece riscontrare superamenti solo nel 2009 con una concentrazione media dell'analita pari a 0,27 µg/l. A tal riguardo andrebbe pertanto studiata la possibilità di limitare in assoluto il diretto contatto tra l'acquifero superficiale e l'acquifero profondo, indagando sulla idrogeologia dei pozzi profondi che interessano i due acquiferi, al fine di evitare la propagazione dell'inquinamento.

19.5.1.4. - Sintesi delle attività di messa in sicurezza e bonifica

La Società Aventis ha attuato un intervento di messa in sicurezza, attraverso la creazione di una barriera idraulica costituita da pozzi di estrazione e successivo trattamento delle acque emunte (Pump & Treat), tesa ad interrompere la migrazione verso valle della contaminazione. Tale intervento è stato attivato negli ultimi mesi del 2006, attraverso un impianto di emungimento automatizzato in grado di prelevare acqua in continuo, mediante elettropompe sommerse, da 21 pozzetti/piezometri preesistenti, situati nell'area Sud-Est dello stabilimento (area chimica e impianto di trattamento acque). L'intervento di messa in sicurezza ha previsto il convogliamento delle acque attraverso collettori ad un serbatoio di raccolta, il caricamento su autocisterna e lo smaltimento presso idonei impianti esterni.

A partire dal mese di febbraio 2007, i controlli sulla qualità delle acque sotterranee all'interno

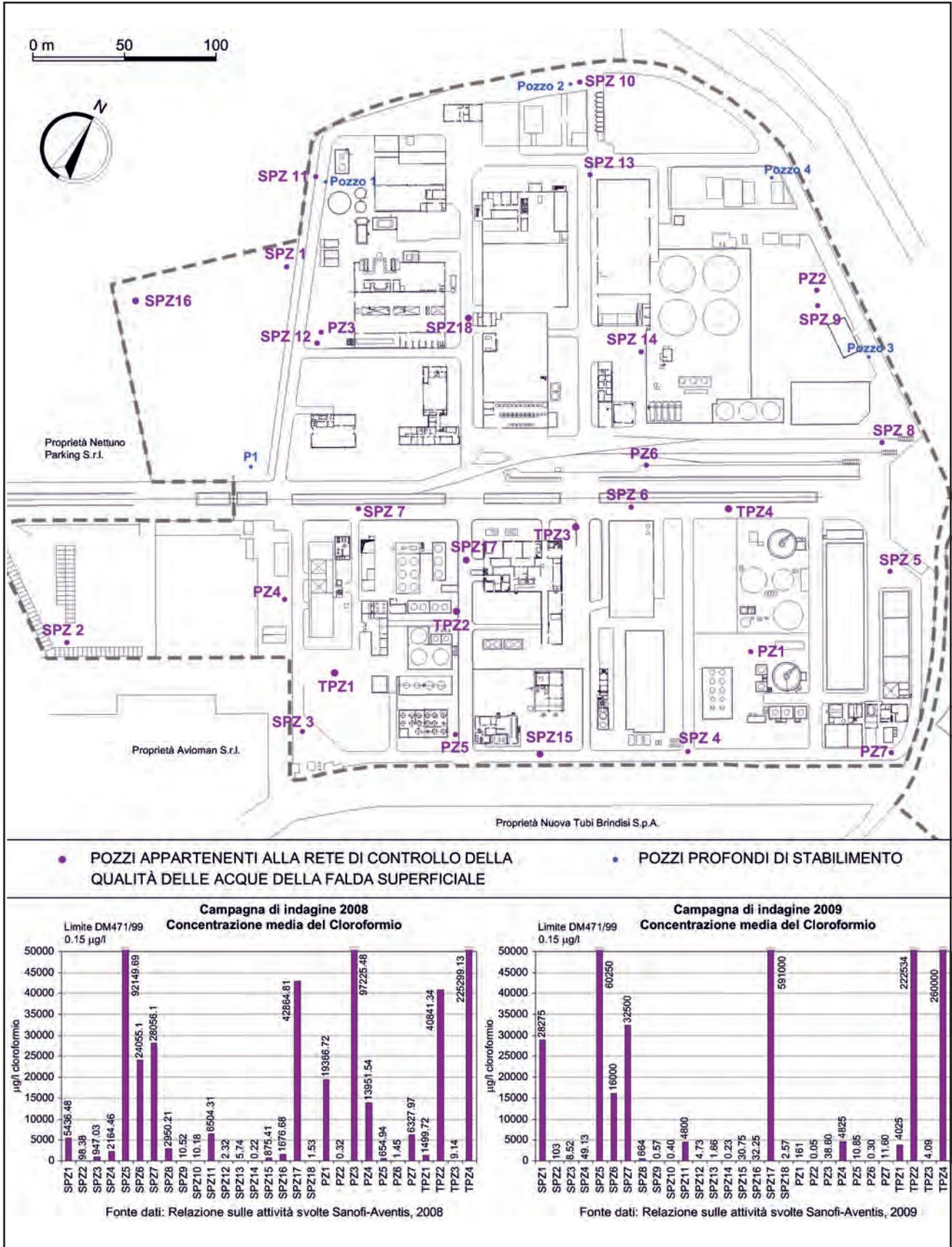


Fig. 19.35 - Concentrazione dell'inquinante Cloroformio (µg/l) nelle acque della falda superficiale sottostante lo Stabilimento Sanofi Aventis di Brindisi.
 - Chloroform (pollutant) concentration (µg/l) with reference to the shallow groundwater located under the Sanofi Aventis Factory in Brindisi.

dello stabilimento vengono effettuati attraverso campionamenti realizzati in contraddittorio con l'ARPA DP di Brindisi, direttamente dalla Sanofi Aventis, la quale si è impegnata a redigere e consegnare alla fine di ogni anno agli Enti preposti un "Rapporto sulle attività svolte".

La società Beta sviluppò, nel 2007, per conto di Sanofi Aventis, la proposta di Progetto definitivo di Messa in Sicurezza Permanente e Bonifica della falda freatica relativamente all'area su cui insiste lo stabilimento. Il progetto prevede la realizzazione

di n. 47 nuovi pozzi, in aggiunta ai 21 già in esercizio, e la realizzazione di un impianto TAF (Trattamento delle Acque di Falda) appositamente strutturato e dimensionato per il trattamento delle acque emunte con l'obiettivo di ottenere in uscita acque con concentrazioni conformi ai valori limite prescritti nella tabella 3 (Acque superficiali) del D.Lgs. 152/06 (fig. 19.36) (SOGESID, 2009). Nel 2008 vennero installati due impianti pilota di trattamento sperimentale dell'acqua di falda contaminata, al fine di identificare la tecnologia più idonea

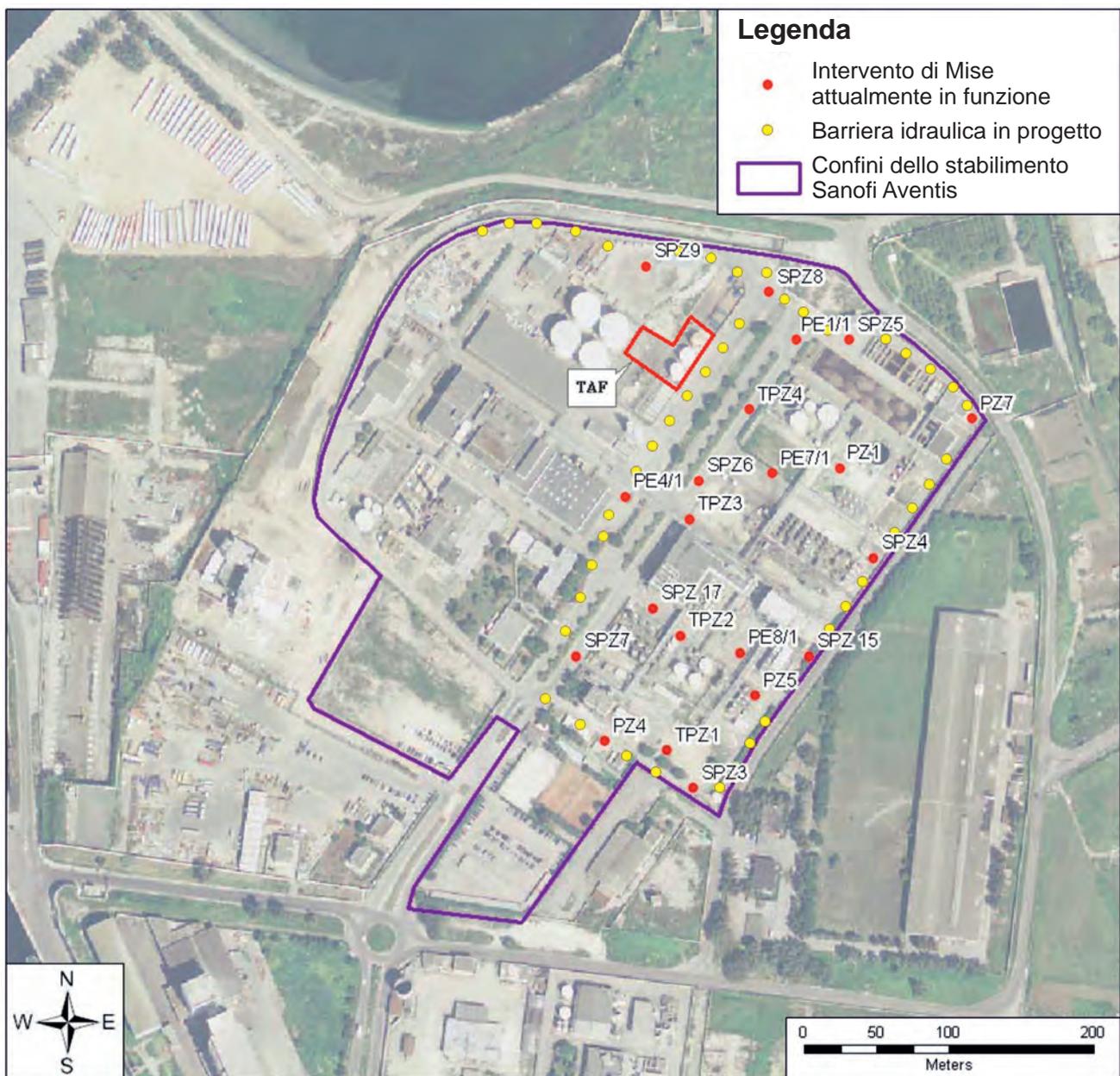


Fig. 19.36 - Sistema di Messa in Sicurezza d'Emergenza (MISE) attivo presso lo Stabilimento Sanofi Aventis e intervento progettato nel 2007 (da SOGESID, 2009).
- Emergency Reclamation System (MISE) working at the Sanofi Aventis Factory and intervention designed in 2007 (from SOGESID, 2009).

di trattamento. I due impianti pilota sperimentali consistevano in:

- a) Adsorbimento in fase liquida su carboni attivi.
- b) Strippaggio con aria ed adsorbimento su carboni attivi in fase gassosa.

Il “Rapporto sulle attività svolte dalla Sanofi Aventis da Gennaio a Dicembre 2009” (consultata presso il competente Ufficio della Regione Puglia) evidenziava l’efficacia dell’impianto nella rimozione dei solventi organici volatili. Le concentrazioni di cloroformio nelle acque di falda risultavano però ancora significative. Infatti, sebbene nel rapporto venisse indicata la forte diminuzione delle concentrazioni di cloroformio nel corso degli anni 2007-2009, in alcuni casi esse raggiungevano ancora valori dell’ordine di 50.000 µg/l.

La barriera esistente e quella progettata nel 2007 non sembrano tra l’altro rispondere agli obiettivi di contenimento e di bonifica della falda circolante al di sotto dello stabilimento, anche perché la distribuzione dei punti di monitoraggio non risulta omogenea, essendo costituita da punti molto ravvicinati in alcune zone e molto radi in altre. Non sono previsti punti di misura all’intorno dello Stabilimento, mentre le analisi effettuate mostrano la presenza di contaminazione anche al di fuori dell’area interessata dall’intervento di Messa in Sicurezza (SOGESID, 2009).

Nel corso del 2008 la Sanofi Aventis ha manifestato l’interesse a valutare una transazione basata sull’Accordo di Programma già citato. Tali vicissitudini hanno portato al “*Decreto direttoriale concernente il provvedimento finale di adozione delle determinazioni conclusive della Conferenza di Servizi decisoria relativa al sito di bonifica di interesse nazionale di Brindisi del 20.12.2010*”, che ha deliberato, a seguito di un incontro tenutosi presso il Ministero dell’Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, che la Società Sanofi Aventis dovrà versare allo Stato un contributo finanziario a titolo di concorso ai costi degli interventi di messa in sicurezza e bonifica delle acque di falda contaminate relative al SIN di Brindisi. È quindi prevista la progettazione e la realizzazione di un’opera di confinamento in grado di impedire la fuoriuscita delle acque inquinate verso l’area marino-costiera antistante il sito e la progettazione, realizzazione e gestione dell’im-

pianto di collettamento, trattamento e recupero delle acque di falda contaminate. La Società Aventis è in ogni caso obbligata a sostenere la quota parte degli oneri di gestione e manutenzione dei sistemi di drenaggio, che saranno realizzati in connessione agli interventi di messa in sicurezza e bonifica delle acque di falda, nonché gli oneri di smaltimento/trattamento delle acque captate da tali sistemi.