

Indagini e risultati per il risanamento dei siti ex industriali dell'area di Bagnoli

Benedetto De Vivo
Dipartimento di Scienze della Terra
Università di Napoli "Federico II"
Via Mezzocannone 8, 80134 Napoli

Introduzione

Il sistema vulcanico attivo dei Campi Flegrei costituisce oramai parte integrante del tessuto urbano e metropolitano della città di Napoli. Nell'area flegrea, ed in particolare nel quartiere di Bagnoli, i processi di urbanizzazione ed industrializzazione (complessi dell'ex ILVA, Eternit, Cementir e Federconsorzi) hanno certamente rappresentato un forte fattore di sviluppo sociale ed economico, ma hanno anche alterato i delicati equilibri naturali, ponendo in discussione la vivibilità dell'ambiente naturale preesistente. La dismissione del sito industriale di Bagnoli ha avuto per la città di Napoli un fortissimo impatto sociale, economico ed ambientale. La cessazione delle attività ha posto il problema del monitoraggio delle aree industrializzate dismesse per stabilire le condizioni di un loro recupero ambientale; in quest'ottica sono stati avviati degli interventi di recupero che mirano al ripristino delle condizioni ambientali naturali, cui dovrebbe seguire la fase di valorizzazione economica.

Un processo di riqualificazione, per quanto arduo possa essere, presuppone una conoscenza dettagliata del grado di modificazione dell'ambiente naturale. In considerazione delle attività industriali insistenti nell'area per circa un secolo, sarebbe stato lecito aspettarsi che gran parte dell'inquinamento dell'area in questione fosse stato di natura antropica legata alle attività industriali presenti sul territorio, prevedendosi un rilascio nell'ambiente soprattutto di metalli derivanti dalla combustione di combustibili fossili (derivati del petrolio, carbone), da scarti di produzione industriale, da residui di impianti di generazione di energia, discariche, loppe, scorie di fusione etc. D'altra parte, l'area di Bagnoli è posta in un campo vulcanico attivo (Campi Flegrei), caratterizzato da forte attività geotermale e quindi è lecito aspettarsi anche un elevato contributo di elementi chimici (es., arsenico) trasportati dai fluidi idrotermali connessi a tale attività. L'idrotermalismo associato ad attività vulcanica, infatti, è notoriamente responsabile dell'apporto nell'ambiente di una notevole quantità di elementi metallici; in molti casi può addirittura portare alla formazione di concentrazioni minerarie di interesse economico (un esempio in tal senso sono i sistemi "*porphyry copper*" e i depositi epitermali auriferi di epoche geologiche passate)(Bodnar, 1995; Hedenquist, 1995). Che l'area nello specchio d'acqua antistante l'area di Bagnoli sia interessata da idrotermalismo è confermato sia da studi condotti in passato (Damiani et al., 1987; Sharp e Nardi, 1987) che da studi recenti che hanno evidenziato l'esistenza, nei Campi Flegrei come nelle vicine Isole Pontine di fluidi idrotermali analoghi a quelli riscontrati nei sistemi mineralizzati tipo "*porphyry copper*" (De Vivo et al., 1995; Belkin et al., 1996; Tarzia et al., 1999; Tarzia, 2001; Tarzia et al., 2002; Fedele et al., 2006).

Ricordando che l'introduzione di metalli e/o elementi inquinanti nei suoli avviene sostanzialmente o per cause naturali (processi di pedogenizzazione di rocce-madri particolarmente ricche in elementi metallici, presenza di mineralizzazioni, fluidi geotermali) oppure per cause di origine antropica (processi industriali, discariche, agricoltura, traffico etc.), è possibile ipotizzare che per l'area di Bagnoli si sia verificata una sovrapposizione di una componente naturale (idrotermalismo flegreo) ad una componente propriamente antropica.

Recupero ambientale dell'area industriale di Bagnoli

Il piano di recupero ambientale dei siti industriali dismessi dell'area di Bagnoli, approvato con delibera CIPE del 20.12.94, e finanziato dal Governo (Legge 582 del 18.11.1996 e Legge 388 del 23.12.2000), si poneva l'obiettivo di rimuovere le condizioni di rischio connesse con la presenza della realtà industriale e di recuperare e rendere fruibile il territorio per uso diversificato

rispetto a quello della storia industriale ed in linea con gli indirizzi urbanistici del Comune di Napoli.

L'intervento previsto riguardava le aree ex ILVA ed Eternit (le aree della Federconsorzi sono state acquisite dalla Fondazione IDIS - Città della Scienza e l'attività della Cementir non è ancora dismessa).

Le attività per il risanamento dei siti industriali dell'area di Bagnoli sono state eseguite, per il periodo 1996 – 2001, sotto il controllo di un Comitato di Coordinamento e di Alta Sorveglianza; tale Comitato era supportato da una Commissione di Esperti tecnico-scientifica di sette membri con competenze multidisciplinari, per il controllo ed il monitoraggio delle attività previste dalla Legge e dei relativi stati di avanzamento (Legge 582 del 18.11.96 - G.U. 19.11.1996, n. 271).

La Legge 582/96 attribuiva al Comitato di Coordinamento e di Alta Vigilanza le seguenti funzioni: a) rapporti con gli Enti Pubblici e con il soggetto attuatore; b) sorveglianza della corretta e puntuale esecuzione degli adempimenti previsti dalla Legge sulla esecuzione del piano di risanamento; c) superamento di particolari nodi di carattere giuridico, tecnico ed amministrativo; d) rispetto della tempistica e delle modalità esecutive nei confronti del soggetto attuatore.

La Commissione di Esperti (CE), organo di supporto al Comitato di Coordinamento e Alta Vigilanza, svolgeva le seguenti funzioni: a) effettuava il monitoraggio (almeno ogni sei mesi) delle attività di cui al comma 1, art. 1, della Legge e ne riferiva al Comitato di Coordinamento e Alta Vigilanza; b) attestava il raggiungimento del livello di intervento certificato dagli stati di avanzamento dei lavori ai fini dell'erogazione del contributo statale; c) valutava ed esprimeva parere di congruità su specifici progetti e trasmetteva detto parere al Comitato di Coordinamento e Alta Vigilanza; d) realizzava e diffondeva periodicamente tramite il Comitato di Coordinamento e Alta Vigilanza i dati informativi di "facile comprensione" al fine di consentire la pubblicità delle operazioni di bonifica; e) rendeva parere al Comitato di Coordinamento e Alta Vigilanza sulle istanze che in base ai dati diffusi potevano pervenire dalle associazioni ambientaliste; f) esercitava un'attività di sorveglianza sui lavori e verificava in ordine alla regolare esecuzione dei medesimi.

Con l'entrata in vigore della L. 388 del 23/12/2000 veniva eliminata sia la CE che il Comitato di Coordinamento e Alta Vigilanza.

Il piano di recupero prevedeva di liberare le aree dagli impianti e dagli inquinanti che vi gravavano mediante interventi di smantellamento e di risanamento ecologico ambientale. Con la bonifica dell'area industriale si sarebbero create le premesse per la costituzione del grande parco urbano previsto dalla variante occidentale che, oltre a rappresentare il segno tangibile della riqualificazione e del recupero ambientale, avrebbe dovuto conservare anche la testimonianza storica del passato industriale della zona. A tal fine la stessa variante ipotizzava un percorso didattico che rievocasse le diverse fasi del ciclo produttivo, da integrare con le attività che si sarebbero svolte nel futuro parco.

Il Comune di Napoli, in accordo con la Sovrintendenza ai Beni Culturali, aveva quindi previsto il recupero, attraverso la conservazione, di 16 manufatti ed impianti particolarmente significativi a testimonianza del passato industriale dell'ex area siderurgica di Bagnoli (Archeologia Industriale). Viceversa il piano CIPE prevedeva la sola conservazione di alcuni edifici per usi civili con una volumetria totale di 192.000 m³.

Le aree industriali interessate al piano di recupero ambientale con le rispettive estensioni sono: il centro siderurgico ILVA (1.945.000 mq e la fabbrica Eternit (157.000 mq). Il centro siderurgico produceva acciaio per *coils* laminati a caldo mediante un ciclo integrale, definitivamente cessato nel dicembre 1991; l'Eternit produceva manufatti in cemento-amianto, la cui lavorazione è cessata definitivamente nel dicembre 1985 (Figura 1).

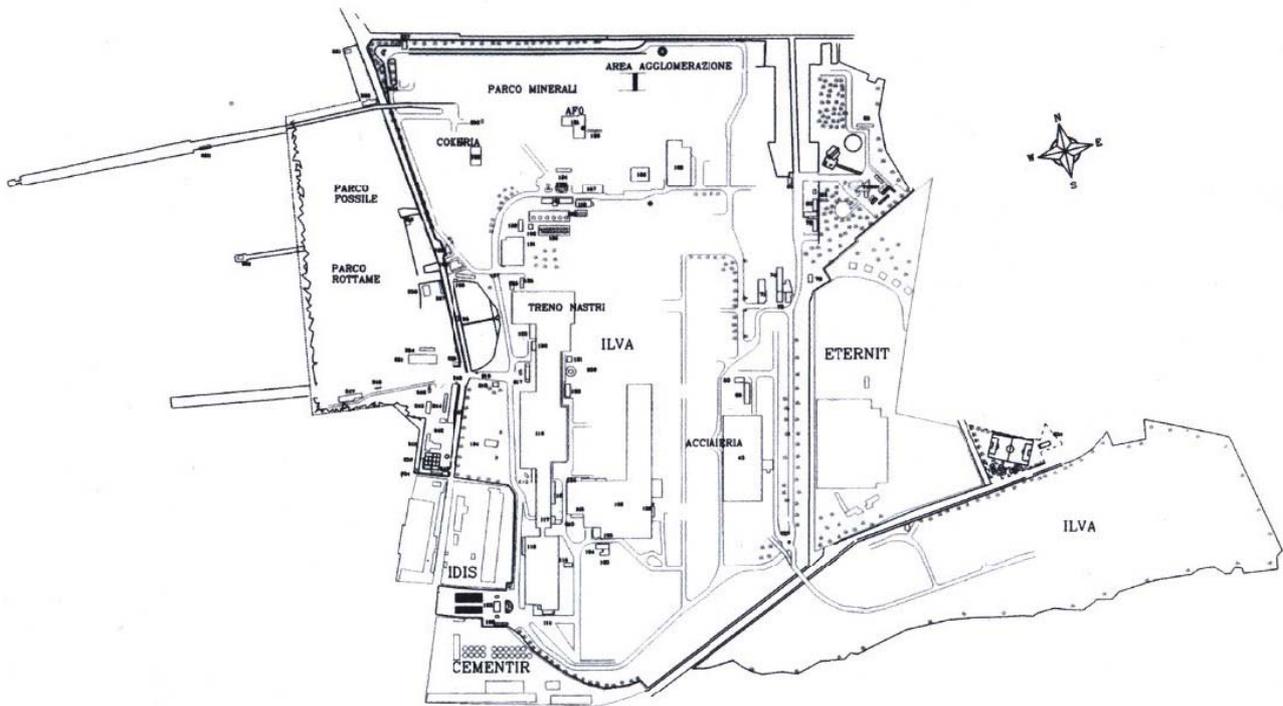


Figura 1 – Situazione impiantistica al 1999

Per realizzare il piano di recupero ambientale delle suddette aree industriali fu costituita il 1 Aprile 1996, la Società Bagnoli SpA. Il progetto, in sintesi, prevedeva: lo smontaggio e lo smantellamento di impianti e strutture siderurgiche; la demolizione delle opere civili, delle murature e dei refrattari con la successiva frantumazione; lo smaltimento delle materie prime siderurgiche, dei residui di lavorazione e la decontaminazione degli impianti mediante ricircolo di residui di materie prime e di semilavorati siderurgici utilizzabili in attività industriali che ne consentissero lo smaltimento; il monitoraggio del sottosuolo, attraverso l'esecuzione di sondaggi geognostici ed il prelievo, analisi chimiche e chimico-fisiche sui campioni; l'elaborazione dei risultati e loro interpretazione e la produzione di carte tematiche relative alla composizione e alla distribuzione degli elementi inquinanti; la bonifica dell'ex area Eternit.

Inquadramento geo-morfologico e stratigrafia dei terreni nei siti ex-industriali di Bagnoli

La Piana di Bagnoli-Fuorigrotta è parte integrante dei Campi Flegrei, un sistema vulcanico quaternario attivo, ubicato a circa 10 km a W-NW della città di Napoli (Figura 2). Dal punto di vista petrografico e magmatologico, i prodotti flegrei appartengono alla serie potassica della provincia Romana (Washington, 1906; Peccerillo, 1985) e variano in composizione da trachibasalti a trachiti fonolitiche peralcaline (Armienti et al., 1983; Di Girolamo, 1978). Secondo diversi autori, la morfologia attuale dell'area dei Campi Flegrei è il risultato di un'alternanza di eventi vulcanici costruttivi e distruttivi e/o processi tettonici talvolta coevi. Inoltre, variazioni nello spazio e nel tempo dei rapporti geometrici tra mare e terre emerse hanno contribuito non poco all'attuale assetto morfologico dell'area. In particolare, si ritiene (Russo et al, 1998) che la piana di Bagnoli-Fuorigrotta si sia formata 12.000 anni fa successivamente all'eruzione del "Tufo Giallo Napoletano" ed al collasso vulcano-tettonico che ha generato la "caldera flegrea". Successivamente, l'attività del campo policroaterico di Agnano, avvenuta all'interno della caldera in due fasi distinte e collocate tra 11.000 e 3.500 ybp (anni prima del presente), ha contribuito all'aggradazione della depressione con un conseguente avanzamento della linea di costa e la formazione del terrazzo di Bagnoli-Fuorigrotta.

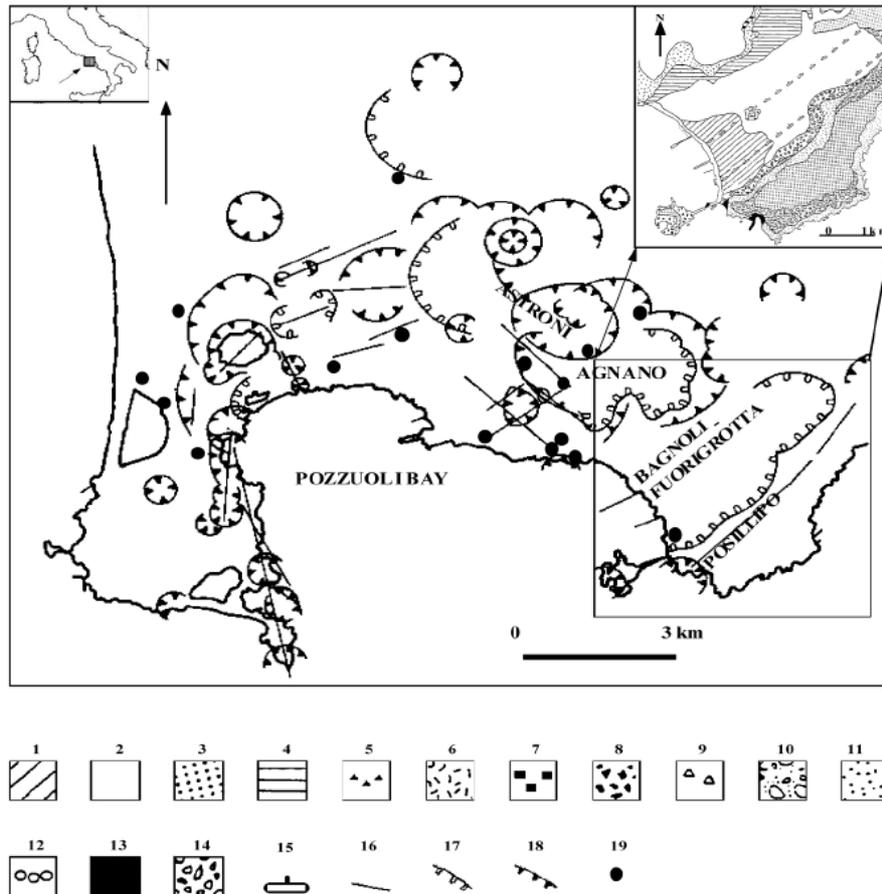


Figura 2 – Carta geologica schematica della depressione di Bagnoli-Fuorigrotta

Il bradisismo flegreo, insieme a fenomeni di risalita eustatica del livello del mare, ha fatto proseguire la sedimentazione di ambiente marino a valle del suddetto terrazzo, nella attuale piana di Coroglio fino in epoca classica. Da circa 2000 anni, con la formazione di un cordone dunare lungo la costa, la piana ha assunto la fisionomia attuale ed è stata interessata solo da fenomeni bradisismici. Tuttavia ambienti limno-palustri sono persistiti fino a circa la seconda metà del 1800, fino a quando interventi di bonifica hanno definitivamente consegnato la zona di Bagnoli al dominio continentale.

Nella parte centrale ed orientale della piana, il substrato è formato dal Tufo Giallo Napoletano che affiora lungo il margine della dorsale di Posillipo e si approfondisce man mano che si procede verso il campo di Agnano. La parte occidentale è invece dominata dalle vulcaniti di Agnano. Quelle del ciclo più antico (11.000-7.000 ybp) sono intercalate a sedimenti marini fossiliferi, di ambiente limno-palustre e/o paleosuoli. Le vulcaniti del ciclo più recente (5.500-3.500 ybp) sono alternate a paleosuoli o a livelli vulcanici alluvionali. Al di sopra di questa successione si rinviene una sequenza di sedimenti marini fossiliferi o di spiaggia, eolici, limno-palustri, vulcanoclastici, piroclastici e/o antropici.

Stratigrafia superficiale: L'esame delle stratigrafie dei sondaggi superficiali eseguiti nella I Fase di monitoraggio dell'area in esame, indica la presenza di una coltre di riporto costituita principalmente da residui di lavorazione prodotti all'interno dell'area industriale, in particolare loppe d'altoforno e scorie di acciaieria, frammenti a terreni di origine vulcanica (ceneri, tufi, etc.) e pezzame vario di origine antropica (calcestruzzo, laterizi, etc.) sovrastante i terreni di origine piroclastica (suolo originario). Sulla base degli spessori rilevati è stato possibile desumere l'andamento della coltre di materiali di riporto. Il 45 % dei sondaggi mette in evidenza la presenza

di spessori della coltre di riporto oscillanti fra 2 - 4 m, il 30 % tra 0 - 2 m, il 20 % tra 4 - 6 m, ed il restante 5 % tra 6 - 8 m. Complessivamente il volume di riporto in area ex-ILVA risulta di circa 5.500.000 m³. Al di sotto della coltre di riporto, tutti i sondaggi superficiali rilevano la presenza di un deposito a matrice cineritica ascrivibile alla *sabbia medio-fine*, contenente pomici da millimetriche a centimetriche.

Stratigrafia profonda: La stratigrafia profonda è stata ricostruita sulla base dei dati dei 6 sondaggi profondi (spinti fino a 50 m dal p.c.) eseguiti nella prima fase di monitoraggio (Figura 3). Nelle stratigrafie sono stati distinti 4 Orizzonti: R, A, B e C. L'Orizzonte R ha uno spessore variabile da 3 a 11 m ed è costituito da una coltre di detrito antropico e piroclastiti rimaneggiate. L'Orizzonte A ha uno spessore variabile da 4 a 10 m, ed è costituito da una piroclastite cineritica grossolana, equivalente sotto il profilo granulometrico ad una *sabbia da media a finissima*. L'Orizzonte B ha uno spessore medio di 30 m e raggruppa varie formazioni. Sotto il profilo granulometrico si inquadra tra *le sabbie molto grossolane e medie*. Nella matrice sono contenuti lapilli pomicei e litici; nella parte basale si rinvencono livelli più ghiaiosi con clasti chiari e scuri. L'Orizzonte C è un banco cineritico che si rinviene intorno ai 40 m di profondità, granulometricamente classificabile come una *sabbia fine-silt*.

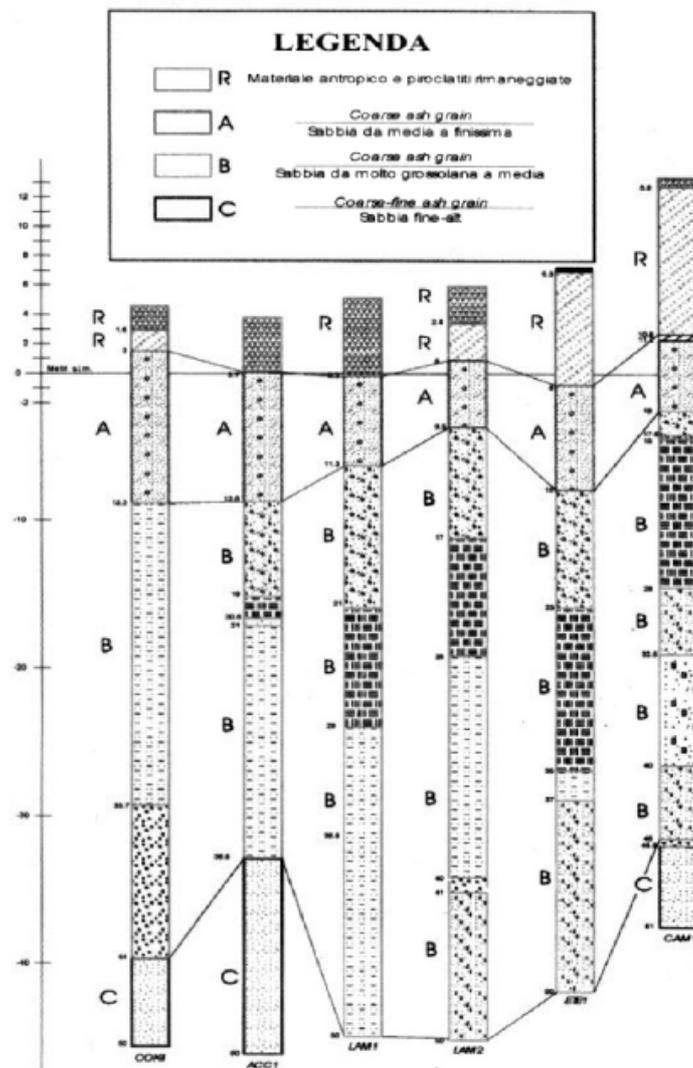


Figura 3 – Stratigrafia dei sondaggi profondi

Aspetti idrogeologici della Piana di Bagnoli - Fuorigrotta

Per quanto riguarda gli aspetti idrogeologici, nell'area di Bagnoli-Fuorigrotta è presente una falda idrica che si livella a quote di poco superiori al livello marino e che pertanto si trova (soprattutto nei settori a sud della linea ferroviaria) a profondità ridotta dal piano campagna (Figura 4). Tale falda, che riceve alimentazione dagli apporti meteorici diretti, può considerarsi parte di un più esteso fronte idrico che impegna tutta l'area flegrea e che ha nel mare il recapito finale. Dalle indagini idrogeologiche, condotte dal Servizio Urbanistica del Comune di Napoli, in ottemperanza ai dettami della Legge 9/83, è emerso che la composizione idro-chimica delle acque sotterranee del sistema flegreo è quella della famiglia clorurato-sodiche e bicarbonato-sodiche, mentre la zona costiera risulta permeata da acque delle famiglie clorurato-sodiche. La falda flegrea è interessata da fenomeni di contaminazione antropica legati a inquinamento urbano e industriale denunciati, nel primo caso, dalla presenza di nitrati, nel secondo, di metalli pesanti e idrocarburi.

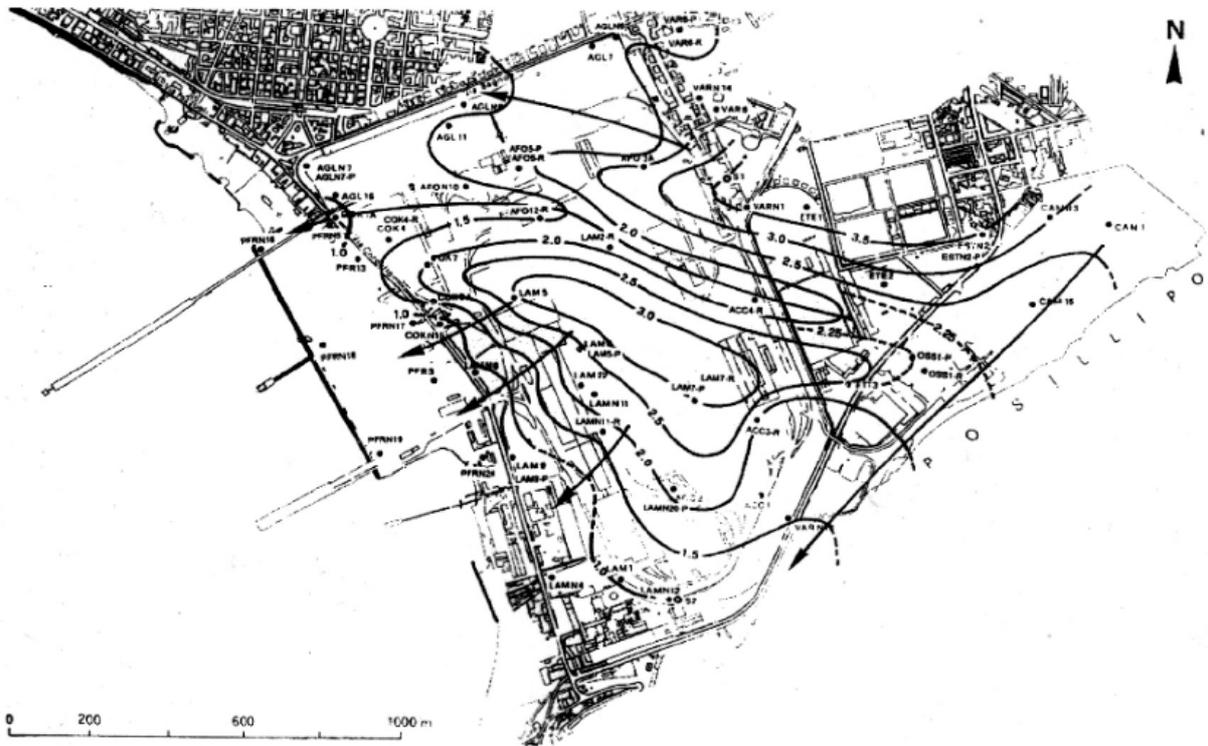


Figura 4 – Morfologia della superficie piezometrica ricostruita utilizzando i livelli idrici misurati, sia nei piezometri “profondi”, sia in quelli “superficiali”, disponibili dopo la I Fase delle indagini.

Di rilevante importanza sono i fenomeni di contaminazione naturale dovuti alla risalita di acque geotermiche, che notoriamente sono arricchite di metalli pesanti e tossici (As, Hg, Cu, Pb, Cd). La risalita delle soluzioni idrotermali si verifica in particolare lungo le fratture (faglie) o intersezioni di fratture che interessano in particolare i siti industriali di Bagnoli e le aree immediatamente circostanti (Figura 5).



Figura 5 - Distribuzione delle faglie (fratture) nella Piana di Bagnoli-Fuorigrotta e posizioni delle sorgenti termali.

Potenziali sorgenti di inquinamento antropico

Tra le possibili sorgenti di inquinamento connesse alle attività industriali presenti nell'area di Bagnoli ricordiamo le polveri ed il fumo di origine industriale, le loppe, le scorie di fusione, i residui di carbone (cocke) e minerali, gli oli pesanti, gli idrocarburi e i residui di utilizzo di combustibili fossili. I minerali utilizzati per la produzione di ghisa e acciaio erano importati principalmente dall'Africa (Liberia, Mauritania), dal Canada, dall'India, dalla ex URSS e dalle Americhe (L'industria Mineraria, 1979a). Il carbone utilizzato per la fusione del minerale grezzo era importato principalmente dalle miniere degli U.S.A. orientali (Monti Appalachi) (L'industria Mineraria, 1979b). Le loppe, un sottoprodotto della produzione della ghisa, risultavano dalla fusione del calcare con le ceneri presenti nel coke e con le ganghe silico-aluminose che rimangono dopo la riduzione e la separazione del Fe dalla massa. Le scorie di acciaierie sono un sottoprodotto della produzione dell'acciaio e risultavano dalla ossidazione delle impurezze e dei composti generati dagli additivi inerti nella carica. L'uso di combustibili fossili (benzine) fornisce una gran quantità di inquinanti all'atmosfera: tra i residui di combustione annoveriamo il Pb che si può trovare nei particolati atmosferici sotto forma di ossidi, carbonati, solfuri. La produzione italiana di additivi per carburanti è dominata dalla compagnia inglese *British Associated Octel* (AOC) e dalla sua sussidiaria Società Italiana Additivi Carburanti (SIAC). La maggior parte del Pb utilizzato proviene dalle miniere australiane di Broken Hill e, subordinatamente, da Sud Africa, Peru, Messico ed Italia (Magi et al., 1975; Monna et al., 1999).

Caratterizzazione del sito

Monitoraggio I e II Fase

Preliminarmente alle operazioni di monitoraggio, è stata predisposta la seguente documentazione: a) cartografia e foto storiche delle aree oggetto di indagine per valutare l'evoluzione degli insediamenti (a partire dal 1870); b) descrizione delle attività produttive succedutesi nell'area interessata dal piano di monitoraggio, con rappresentazione cartografica; c)

pianta delle principali opere di fondazione; d) pianta delle fognature; e) risultati delle indagini (sui suoli, sulle acque di falde, sull'atmosfera) eseguite nel passato; f) relazioni geotecniche e stratigrafiche prodotte durante la realizzazione degli impianti produttivi; g) relazione sulle materie prime e sui prodotti ancora stoccati all'interno delle aree industriali (localizzazione, quantità, composizione, possibilità di diffusione nell'ambiente); h) risultati delle indagini geologiche ed idrogeologiche, con particolare riferimento alle falde acquifere superficiali e profonde.

Si è quindi predisposta una indagine a tappeto, conoscitiva su tutta l'area ex ILVA e Eternit per definire e individuare con dati oggettivi le aree interessate da inquinamento. L'indagine di monitoraggio è stata quindi predisposta in due fasi, comprendenti una fase conoscitiva ed una di dettaglio.

La I fase di monitoraggio dei siti industriali ex-ILVA e Eternit, predisposta dalla Bagnoli SpA, prevedeva una campagna conoscitiva mediante sondaggi superficiali (fino alla profondità della falda superficiale, cioè fino a circa 5 m di profondità) con una maglia di 100 m x 100 m (con il prelievo di campioni a profondità di 0,5, 1,5, 3 e 5 m circa) e 6 sondaggi profondi fino alla profondità di circa 50 m (o comunque fino alla falda profonda). In questa fase 30 dei sopraindicati sondaggi sono stati condizionati con piezometri. Successivamente in funzione dei risultati delle analisi chimiche eseguite sui campioni prelevati con maglia 100 m x 100 m, è stata eseguita una II fase di monitoraggio con maglia 25 m x 25 m nelle aree risultate inquinate e 50 m x 50 m in quelle esenti da inquinamento.

Per avere informazioni di riferimento sul valore limite della concentrazione del fondo naturale degli elementi chimici dei suoli esterni all'area siderurgica di Bagnoli, sono stati effettuati 2 sondaggi profondi nell'area di Agnano e dello Stadio di Fuorigrotta. Oltre che da questi due sondaggi profondi, sono stati prelevati anche campioni in altre 10 siti dei Campi Flegrei.

Dal mese di Novembre 1997 ad Aprile 1998 nell'area siderurgica e nella zona Eternit è stata effettuata una campagna di indagini geognostiche (maglia 100 x 100 m), comprendente l'esecuzione di carotaggi superficiali e profondi, il campionamento rimaneggiato e indisturbato del sottosuolo, il campionamento delle acque e l'esecuzione di prove geofisiche, al fine di pervenire alla caratterizzazione litostratigrafica, geomeccanica e chimico-ambientale dei terreni di interesse, nonché alla ricostruzione dell'andamento della superficie piezometrica. In particolare sono state realizzate le seguenti indagini: a) 6 sondaggi profondi fino alla profondità di 50 m dal piano campagna e condizionati a piezometro; b) 2 sondaggi profondi, all'esterno dell'area industriale, spinti fino a circa 50 m dal piano campagna; c) 207 sondaggi superficiali fino alla falda, di cui 24 condizionati a piezometro; d) prelievo di 905 campioni rimaneggiati di terreno, di cui 621 sottoposti ad analisi chimiche; e) 28 campioni indisturbati di terreno sottoposti ad analisi geotecniche di laboratorio; f) 28 prove SPT (*standard penetration test*) eseguite nel corso dei carotaggi; g) prospezione sismica con metodologia a rifrazione nella sola area Eternit; h) prospezione geoelettrica dipolare nella sola area Eternit; i) prospezione Georadar nella sola area Eternit; l) georeferenziazione dei siti di sondaggio. Sui campioni prelevati sono state effettuate un totale di 20.751 determinazioni analitiche (elementi inorganici ed elementi e composti organici).

Alla luce delle risultanze analitiche dell'attività di indagine condotta in prima fase è stata programmata, nel sito ex ILVA, una seconda campagna di indagine consistente nell'esecuzione di ulteriori carotaggi superficiali spinti fino alla falda utilizzando, però una maglia 50 m x 50 m o di 25 m x 25 m. La maglia più larga è stata utilizzata su quelle aree che in prima fase si sono rivelate esenti da inquinamento, la maglia più stretta è stata invece utilizzata nelle aree risultate inquinate. Tale attività è iniziata il 31 maggio 1999 ed è terminata il 15 ottobre 1999 e durante la quale sono stati eseguiti: a) 2.089 carotaggi; b) prelievo di 5.976 campioni (3.586 prelievi per analisi di elementi metallici e 2.390 prelievi per analisi di composti organici). Sui campioni prelevati sono state effettuate un totale di 73.219 determinazioni analitiche.

Analisi chimiche e controlli di qualità dei risultati analitici

Sui campioni prelevati attraverso sondaggi sono state effettuate le seguenti analisi chimiche: Generali e Anioni (*Conducibilità ms/cm; Solfuri; Fluoruri; Cianuri liberi; Cianuri complessi; Zolfo elementare; Solfati; Amianto*); Metalli (*As, Ba, Be, Cd, Co, Cr, Cr (VI), Cu, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Sn, Th, U, V, Zn*); Idrocarburi totali come n-eptano (7); Solventi Alifatici Alogenati (*1.2 Dicloroetano, 1.1.1 Tricloroetano (Trielina)*); Solventi Aromatici Non Alogenati (*Benzene; Fenoli volatili espressi come fenolo; BTX (benzolo - toluolo - xiloli)*); Solventi Aromatici Alogenati (*Monocloro benzene; Clorofenoli*); Idrocarburi Policiclici Aromatici (*IPA più tossici: benzo(a)antracene, benzo(a)pirene, benzo(b)fluorantene, benzo(j)fluorantene, benzo(k)fluorantene, pirene; IPA meno tossici (naftalene, andracene, fenantrene, fluorantene, pirene)*); Microinquinanti Organici Policlorurati (*PCB; Diossine; Pesticidi e fitofarmaci - DDT*)

I risultati delle analisi prodotti dal Laboratorio prescelto dalla Bagnoli SpA furono sottoposti a Controlli di Qualità, attraverso sottomissione al laboratorio prescelto dalla Bagnoli SpA di campioni standards internazionali - a composizione nota - ignoti al laboratorio prescelto e la sottomissione del 5 % dei campioni analizzati in duplicato - scelti a caso - presso i laboratori del *British Geological Survey*. I controlli di qualità imposti dalla CE mostrarono che le analisi, effettuate durante la I fase di monitoraggio dal Laboratorio prescelto dalla Bagnoli SpA, prima che avvenisse l'insediamento della CE, non fossero state eseguite in modo idoneo, registrandosi errori ben oltre i limiti accettabili dalle norme internazionali. Questi errori portavano all'individuazione di inquinamenti da elementi metallici tossici (in particolare, il cadmio) assolutamente non veritieri. Sulla base di queste risultanze la CE chiese l'annullamento del contratto con il Laboratorio scelto dalla Bagnoli SpA ed impose l'effettuazione delle analisi ex novo di tutti i campioni presso un nuovo Laboratorio, nel rispetto delle norme di qualità. I nuovi risultati confermarono che i livelli di inquinamento in elementi metallici tossici fosse di entità decisamente inferiore rispetto alle risultanze analitiche del Laboratorio originario prescelto dalla Bagnoli SpA.

Campionatura e metodi di indagine per le indagini isotopiche

I campioni utilizzati per le indagini isotopiche finalizzate alla valutazione dell'origine della contaminazione metallica, provengono da 20 sondaggi effettuati durante la I Fase di monitoraggio (maglia 100x100 m) del sito industriale. Queste indagini sono state effettuate, nell'ambito di un progetto di Dottorato di Ricerca, sotto la direzione del Prof. B. De Vivo (senza alcun contributo economico da parte della Bagnoli SpA). La Bagnoli SpA si limitò a fornire al Dottorando Maurizio Tarzia la sola campionatura.

I campioni prescelti sono stati essiccati all'aria e setacciati alla frazione inferiore a 2 mm; la frazione passante è stata poi omogeneizzata, quartata e risetacciata questa volta alla frazione inferiore a 177 micron (80 mesh). I campioni così preparati sono stati sottoposti a: analisi chimica (ICP-AES) per la determinazione degli elementi maggiori minori e in traccia; analisi XRF per la determinazione della mineralogia delle loppe e scorie di altoforno; determinazione dei rapporti isotopici (isotopi del Pb), per lo studio in senso stretto delle sorgenti delle possibili contaminazioni. Le analisi XRF e parte delle determinazioni dei rapporti isotopici del Pb sono state eseguite presso i laboratori del Servizio Geologico americano (*U. S. Geological Survey, Reston, Virginia*); altre determinazioni di rapporti isotopici sono state invece eseguite presso i laboratori del *British Geological Survey* (B.G.S., Nottingham). Le analisi ICP-AES hanno portato alla determinazione delle concentrazioni dei seguenti elementi: Ag, Al, As, Au, B, Ba, Bi, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Ga, Hg, K, La, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, S, Sb, Se, Sr, Te, Th, Ti, Tl, U, V, W, Zn, tramite attacco multiplo con acidi forti (acido fluoridrico, acido nitrico, acido perclorico e acido cloridrico).

Analisi statistica dei dati e carte della distribuzione dei valori analitici

Nella Tabella 1 vengono mostrati tutti i parametri statistici ottenuti attraverso l'analisi statistica univariata di tutti gli elementi analizzati, sia metallici che organici. Il Decreto 471/1999 del Ministero dell'Ambiente, che fissa i valori limiti di intervento per l'uso residenziale/ricreativo e

commerciale/industriale stabilisce anche, correttamente, che detti limiti vanno modificati in funzione dei valori naturali di fondo (*background*). La CE si è attenuta a questa norma, dando indicazione per il prelievo di campioni di suoli in aree esterne a quella ex-siderurgica di Bagnoli, ma assolutamente con le stesse caratteristiche geo-litologiche. La Bagnoli SpA ha quindi effettuato il prelievo dei campioni restando all'interno dell'apparato vulcanico dei Campi Flegrei. La Tabella 2 mostra i parametri statistici relativi ai campioni provenienti dai siti esterni all'area ex-siderurgica.

	PARAMETRI STATISTICI DEI CAMPIONI RELATIVI A TUTTI I LITOTIPI									
	Parametri	D.M. 471/1999 uso residenziale	Valori di background	Numero analisi	Limiti di rilevabilità strumentale	Min	Max	Media	Mediana	Deviazione standard
		mg/kg	mg/kg		mg/kg	mg/kg	mg/kg			
Composti inorganici	pH	-		576		5,5	12,8	9,39	9,15	1,38
	Conduttività (mS/cm)	-		576		5,2	23500	835,36	366,51	1836,93
	Solfuri	-		576		10	4920	95,30	10,01	390,48
	Solfati	-		575		5	22318	655,85	133,01	1567,19
	Fluoruri	-		575	1	1	182	11,54	9,76	11,61
	Cianuri liberi	1		574	1	1	3	1,00	1,00	0,08
	Cianuri complessi	-		574	1	1	10,8	1,03	1,00	0,43
	Zolfo elementare	-		525	100	100	612	103,36	100,00	33,62
Amianto	100		399				sempre assente			
Metalli	Arsenico	20	36	365	0,04	1,4	292,2	29,28	19,60	32,32
	Bario	-	-	365	0,07	10	1570	674,07	715,00	342,05
	Berillio	2	12	365	0,03	0,2	12	4,52	4,80	2,07
	Cadmio	2	2	365	0,02	0,02	12,6	0,57	0,2	1,2
	Cobalto	20	35	365	0,05	0,3	102	10,10	7,20	10,40
	Cromo Totale	150	150	365	0,1	2	1380	68,88	25,00	134,97
	Cromo Esavalente	2	-	365	5	5	5	5,00	5,00	0,00
	Mercurio	1	1	364	0,04	0,02	20	0,54	0,20	1,62
	Molibdeno	-	-	365	0,05	0,1	14,4	3,27	3,20	1,40
	Nichel	120	120	364	0,1	1,3	904	24,26	12,00	60,43
	Piombo	100	110	365	0,5	1	1440	97,79	62,00	154,52
	Rame	120	120	365	0,1	4	644	56,58	33,00	69,19
	Stagno	1	15	365	0,04	0,8	149,7	9,46	5,80	12,56
	Vanadio	90	100	362	0,05	8,7	2910	123,03	88,00	184,79
Zinco	150	158	364	0,15	2	6159	245,37	116,00	555,52	
Btx	Fenoli volatili	0,1	0,1	569	0,01	0,1	2,74	0,15	0,10	0,21
	Benzene	0,1	0,1	575	0,005	0,05	9,7	0,07	0,05	0,40
	Toluene	0,5	0,5	575	0,01	0,1	1,25	0,11	0,10	0,07
	Xilene	0,5	0,5	574	0,01	0,1	1,85	0,11	0,10	0,09
	Idrocarburi totali	20	50	576	2	5	68800			
Solventi aromatici alogenati	Monoclorobenzene	0,5	0,5	545	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,000
	2 - clorofenolo	0,5	0,5	545	0,005	0,005	0,035	0,0055	0,005	0,003
	2,4 - diclorofenolo	0,5	0,5	547	0,005	0,005	0,05	0,0056	0,005	0,004
	2,6 - diclorofenolo	n.r.	n.r.	547	0,005	0,005	0,05	0,0055	0,005	0,004
	2,4,6 - triclorofenolo	0,01	0,01	547	0,005	0,005	0,05	0,0053	0,005	0,003
	2,3,4,6 - tetraclorofenolo	n.r.	n.r.	547	0,005	0,005	0,05	0,0054	0,005	0,004
	Pentaclorofenolo	0,01	0,01	547	0,005	0,005	0,05	0,0054	0,005	0,004

Tabella 1 – Parametri statistici dei dati analitici della campionatura della Fase I, con maglia 100 m x 100 m

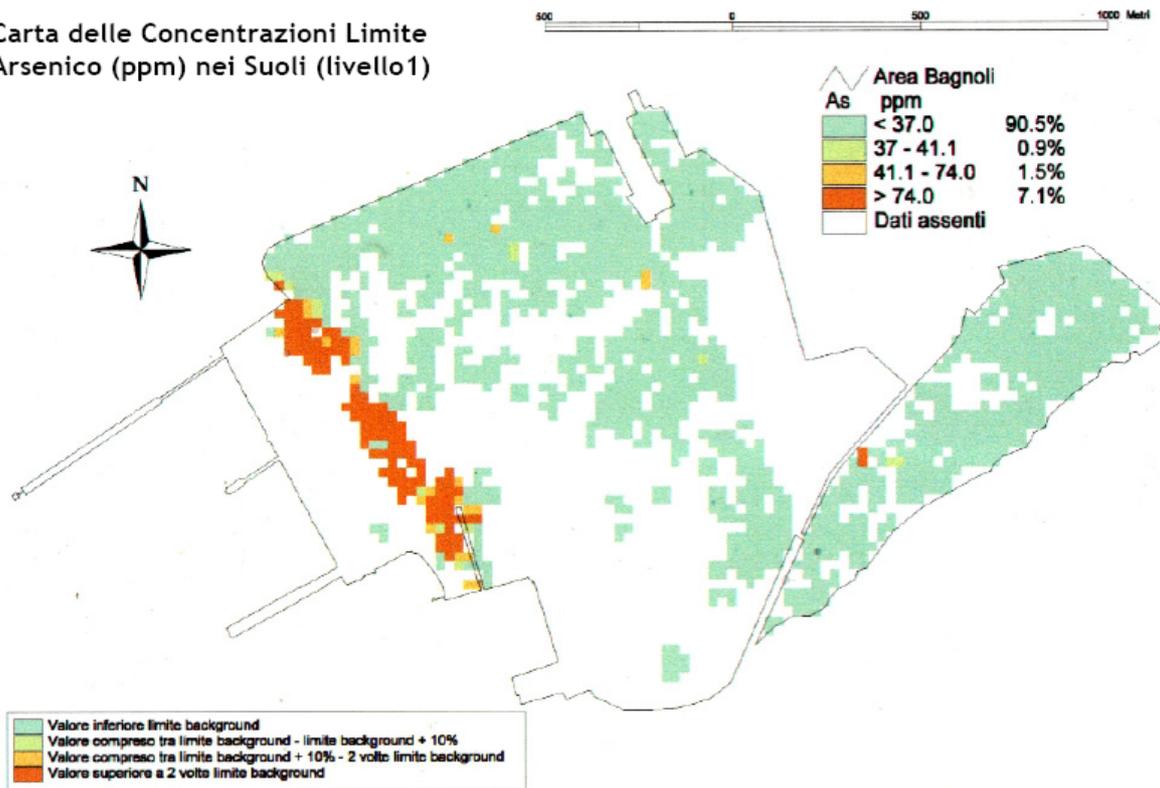
DATI STATISTICI RELATIVI AI CAMPIONI DI SUOLO ESTERNI AL SITO INDUSTRIALE							
Parametri	Media	Mediana	Media Geom.	Min	Max	Dev. Stand.	Dev. Stand. Geom.
Arsenico	33,6	23,6	25,1	14,8	217,3	45,0	0,26
Bario	843,7	821,5	784,6	294,0	1545,0	297,2	0,18
Berillio	7,2	6,6	6,3	2,4	15,4	3,7	0,23
Cadmio	0,3	0,3	0,2	0,1	0,5	0,1	0,2
Cobalto	44,9	7,15	14,0	4,0	280,0	73,6	0,63
Cromo	27,6	25	21,0	0,8	89,0	19,1	0,41
Mercurio	0,4	0,1	0,2	0,04	3,8	0,9	0,55
Molibdeno	26,3	4,45	5,5	2,8	400,0	90,6	0,47
Nichel	13,8	10	10,9	5,0	76,0	15,3	0,25
Piombo	80,5	68,5	75,9	47,0	181,0	31,0	0,14
Rame	30,3	21	23,7	10,0	90,0	24,1	0,3
Stagno	10,2	9,42	9,3	5,0	24,0	5,0	0,19
Vanadio	75,4	74,9	72,9	46,3	136,0	20,5	0,11
Zinco	116,0	111,5	111,3	63,0	202,0	34,3	0,13
Idrocarburi	45,4	18	24,3	5	204	56,7	0,47

Tabella 2 – Parametri statistici dei dati analitici dei campioni prelevati in aree esterne al sito di Bagnoli

Sulla base della distribuzione cumulativa di frequenza, la CE determinò il valore *background* di soglia da utilizzare poi come limite di intervento all'interno dell'area siderurgica. Come da procedura codificata internazionale la soglia di *background* venne fissata, caso per caso, mediamente in corrispondenza dei percentili compresi fra 70 e 90.

Sulla base quindi dei limiti fissati con le sopraindicate procedure la Bagnoli SpA riportò su mappe la distribuzione dei valori analitici ottenuti per ogni singolo sito e per tutti gli elementi chimici analizzati. Di seguito viene mostrata solo la distribuzione di alcuni parametri chimici i cui valori risultavano al di sopra della soglia fissata per una elevata percentuale di siti indagati. Nelle figure 6A 6B, 7A e 7B viene mostrata la distribuzione delle concentrazioni di As e IPA dai risultati della II Fase di monitoraggio con maglia 25 m x 25 m e 50 m x 50 m.

Carta delle Concentrazioni Limite Arsenico (ppm) nei Suoli (livello1)



Carta delle Concentrazioni Limite Arsenico (ppm) nei Riporti

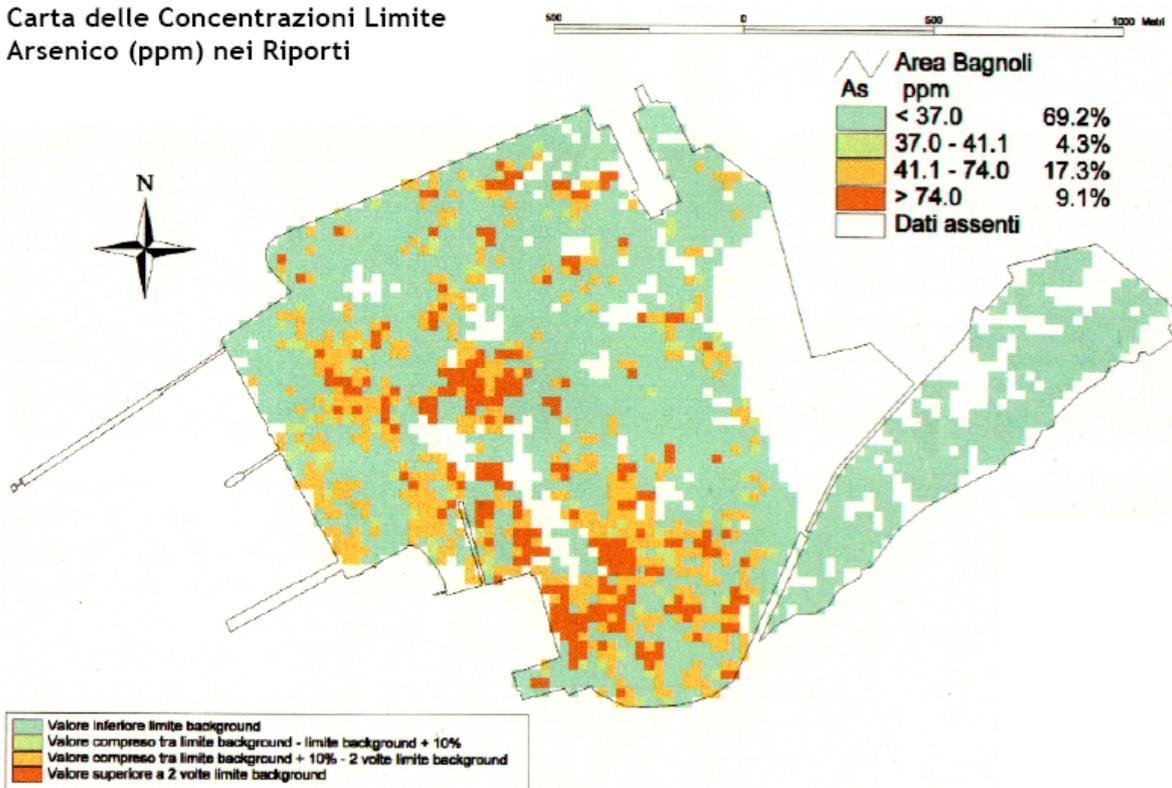
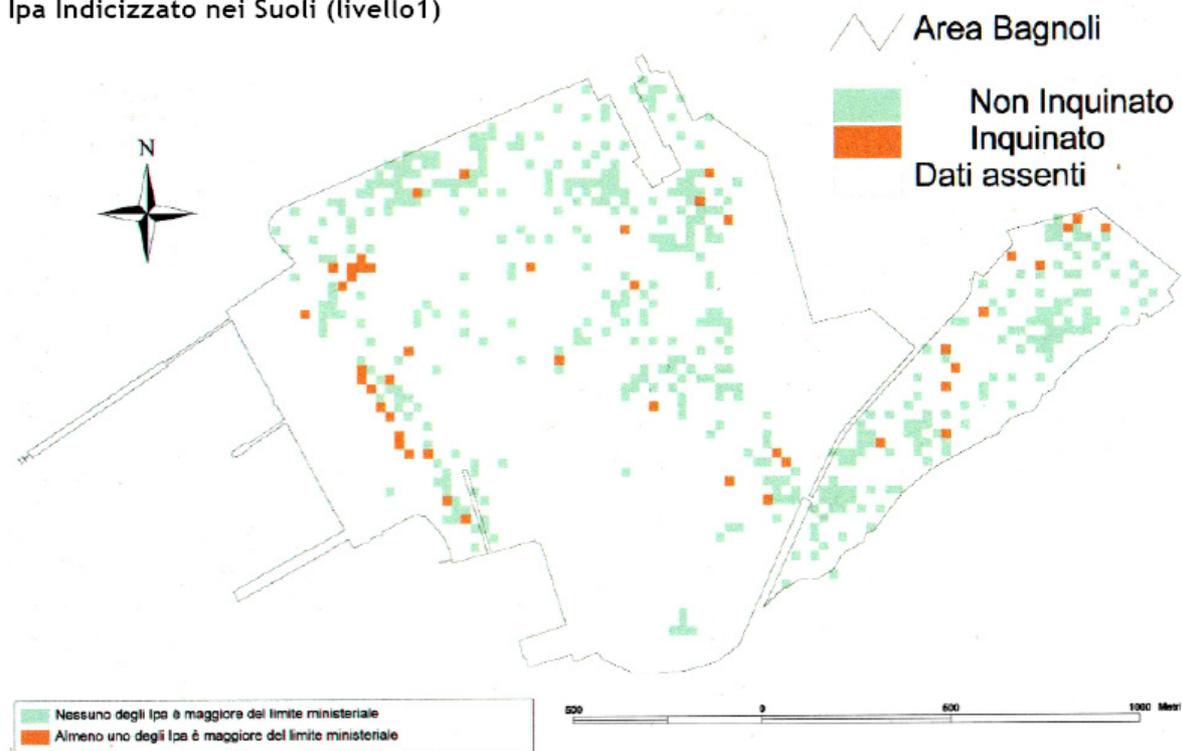


Figure 6A e 6B - Distribuzione dell'arsenico nei suoli e nei riporti - maglia 25 x 25 m e 50 x 50 m

Carta delle Concentrazioni Limite
Ipa Indicizzato nei Suoli (livello1)



Carta delle Concentrazioni Limite
Ipa Indicizzato nei Riporti

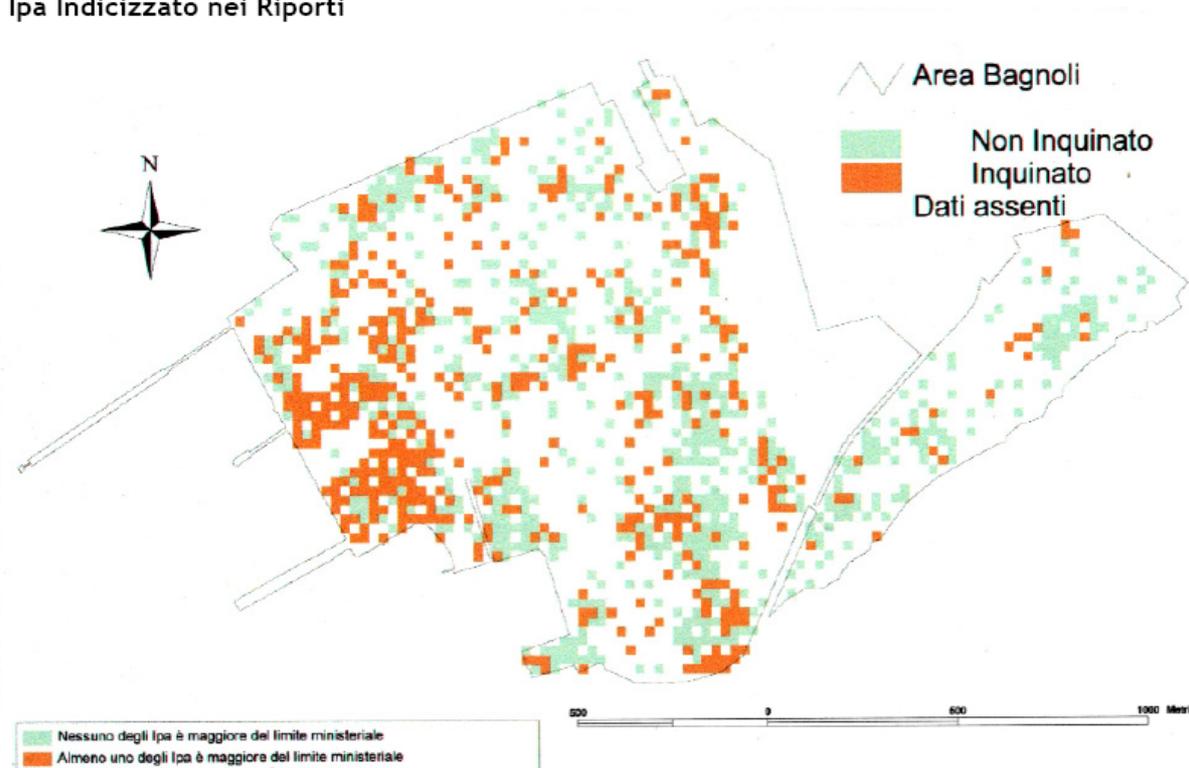


Figura 7A e 7B - Distribuzione degli IPA nei suoli e riporti - maglia 25 x 25 m e 50 x 50 m

Oltre all'indagine di statistica univariata i dati analitici furono elaborati attraverso analisi statistica multivariata. Si è utilizzata in particolare l'Analisi Fattoriale in R-mode che è utile soprattutto ai fini dell'interpretazione delle possibili sorgenti delle anomalie, ma che non è assolutamente risolutiva per la definizione delle soglie di intervento sulla base dei valori limiti

fissati dal Decreto del Ministero Ambiente. L'analisi fattoriale raggruppa le anomalie per associazioni geochimiche fra di loro compatibili da un punto di vista geologico-mineralogico, presenza di processi mineralizzanti, processi di concentrazioni legate all'ambiente superficiale. Sulla base quindi di quest'analisi furono identificate 6 associazioni chimiche fattoriali significative (Figura 8).

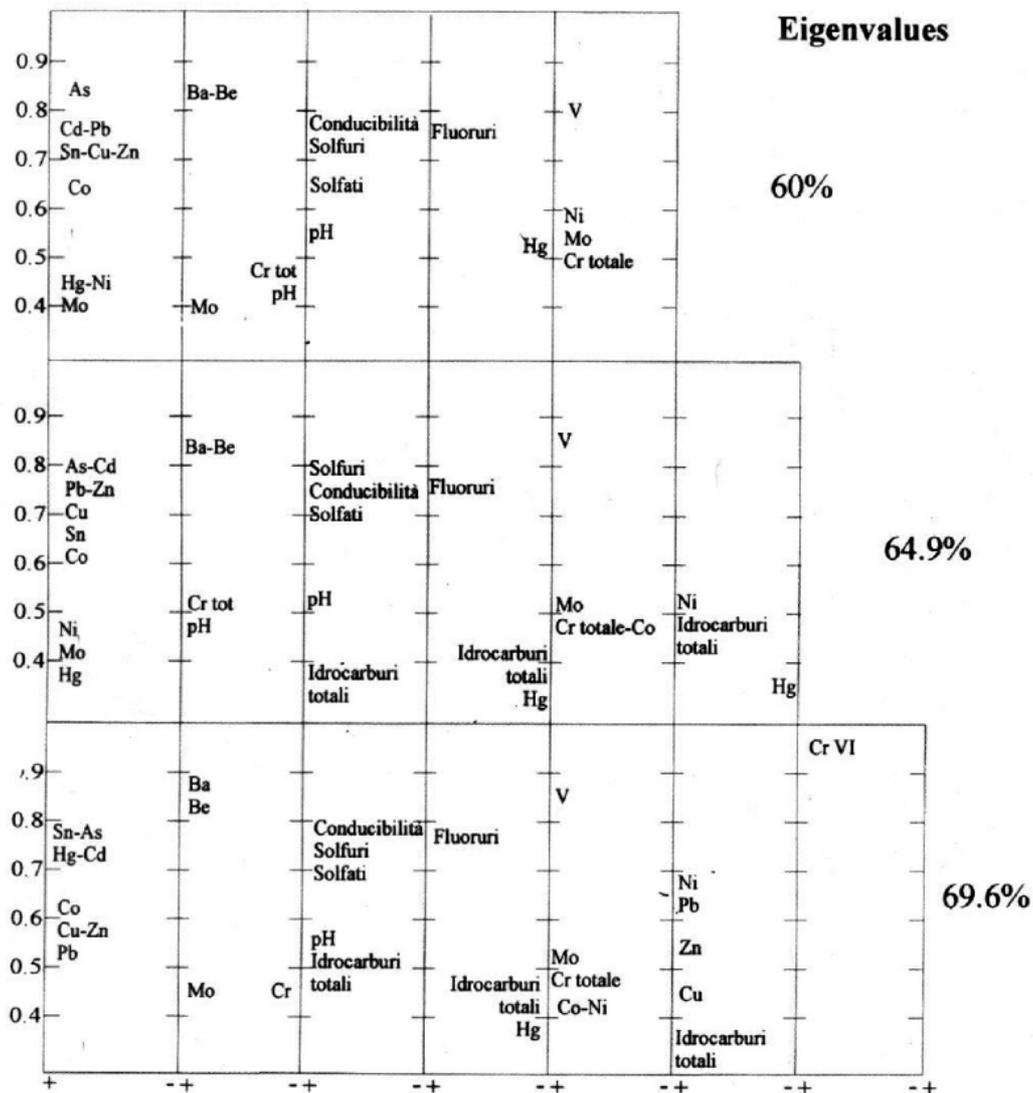


Figura 8 – Modelli fattoriali dei risultati analitici dei campioni della maglia 100 m x 100 m

L'incidenza di ogni associazione fattoriale viene quantizzata per ogni sito campionato attraverso la distribuzione dei *factor scores*. Associando la distribuzione dei *factor scores* con la distribuzione nota delle litologie si stabilisce una relazione fra l'associazione stessa e la possibile sorgente responsabile di quella associazione.

Monitoraggio delle acque sotterranee

Per il monitoraggio delle acque sotterranee furono installati 71 piezometri, con il prelievo di 221 campioni di acque, per un totale di 9.463 determinazioni analitiche. Furono eseguite 7 campagne di prelievo di acque sotterranee, sia superficiali che profonde, con analisi di parametri fisico-chimici caratterizzanti (pH, Eh, Ossigeno disciolto, Temperatura e Conducibilità) e degli elementi e composti potenzialmente inquinanti (metalli pesanti, idrocarburi, IPA, etc.). Lo studio idrogeologico eseguito dalla Bagnoli SpA pervenne alle seguenti conclusioni: a) l'acquifero è

costituito da livelli a varia litologia e granulometria (e pertanto a diverso grado di permeabilità), a giacitura sub-orizzontale in cui si ha una tipica circolazione “per falde sovrapposte”. A scala più ampia si può ritenere che la falda debba essere unica essendo i corpi idrici locali, tra loro interconnessi; b) la superficie piezometrica può essere divisa in sottozone con caratteristiche differenti fra di loro: la sottozona nord-occidentale è caratterizzata da un asse di drenaggio molto evidente, le cui acque trovano recapito lungo un breve tratto di costa prossimo a Piazza Bagnoli; la sottozona sud-occidentale è interamente collocata all’interno dello stabilimento e trova recapito a mare, lungo il tratto di costa interessato da Via Coroglio; la sottozona sud-orientale è caratterizzata da direttrici di flussi orientate verso sud e sud-est, cioè verso l’asse di drenaggio preferenziale che si configura alla base del versante nord-occidentale della collina di Posillipo; c) la profondità teorica di interfaccia risulta all’incirca di 8,5 m in area PFR, di circa 55 m in area COK, di circa 65 m in area AFO. La morfologia di tale linea è quella tipica, con pendenza all’incirca di 45° e con spessore crescente man mano che ci si allontana dalla costa. d) Tre prove di emungimento e sei prove Lefranc indicano valori di permeabilità abbastanza bassi. Le portate maggiori si rilevano lungo gli assi di drenaggio a nord e a sud lungo la fascia detritica sottostante la collina di Posillipo.

Il pH delle acque è estremamente variabile, con punte massime di basicità ($\text{pH} = 9,7$) nelle aree in corrispondenza della colmata a mare e valori prossimi alla neutralità lungo la zona settentrionale (area DIR-AGL). La temperatura varia fra 14,8°C nelle aree a monte e 24,3°C in corrispondenza della linea di costa. La conducibilità elettrica specifica mediamente è di 1 mS/cm, ad eccezione dell’area di colmata dove raggiunge valori massimi di 16,6 mS/cm per effetto dell’acqua marina salata. Valori positivi dell’Eh si registrano nell’area est e nord dell’insediamento industriale, mentre valori negativi si registrano nell’area di colmata (-167.5 mV): queste condizioni chimico-fisiche sono favorevoli alla solubilizzazione di metalli quali Fe e Mn. L’ossigeno disciolto risulta carente in tutta l’area (<1 mg/l); solo nell’area nord-occidentale si hanno valori che superano 3 mg/l. La situazione si correla bene con quella dell’Eh: i valori minimi di ossigeno disciolto si hanno in corrispondenza dei valori minimi di Eh. Le acque analizzate sono caratterizzate da presenza di As, Fe e Mn in concentrazioni superiori ai limiti di riferimento. Gli studi sopra menzionati portano alle seguenti conclusioni: a) l’elevato contenuto di Mn non deriva dalla lisciviazione della porzione superficiale dell’acquifero da parte di acque di infiltrazione perché le acque hanno percorsi troppo brevi per potersene arricchire fino a raggiungere punte di quasi 22.500 $\mu\text{g/l}$ e perché non esiste alcuna correlazione tra idrodinamica sotterranea relativamente superficiale e contenuto di manganese nelle acque. b) l’elevato contenuto di Mn non deriva da fonti di inquinamento antropico, siano esse puntuali o diffuse, perché in superficie, nelle zone di potenziale inquinamento, sono state rinvenute concentrazioni sempre inferiori a 50 $\mu\text{g/l}$; non si intravede alcuna correlazione tra precipitazioni e variazioni delle concentrazioni di Mn nel tempo. c) l’elevato contenuto di Mn deriva dalla risalita di fluidi profondi che rappresentano una caratteristica della Piana di Bagnoli-Fuorigrotta, in particolare, e dei Campi Flegrei in generale (e di tutte le aree vulcaniche con diffusa presenza di geotermalismo) perché: 1) i punti di prelievo caratterizzati da acque molto ricche in Mn e sono ubicati lungo 4 direttrici, cui sembrano corrispondere faglie o fratture che interessano il substrato tufaceo; lungo gli stessi allineamenti si rinvengono sorgenti termali ed antichi crateri; 2) le variazioni delle concentrazioni di Mn e nel tempo seguono leggi non correlabili con le precipitazioni e, pertanto, non necessariamente sono legate a fenomeni di superficie; 3) laddove i punti di prelievo sono sufficientemente fitti, si assiste a fenomeni di diluizione dei contenuti di Mn, con partenza dai punti di prevedibile risalita e seguendo il verso di deflusso delle acque; 4) anche la conducibilità elettrica è correlata con il contenuto di Mn, a riprova di una mineralizzazione proveniente prevalentemente dal basso. Giova qui ricordare che ci troviamo all’interno di un’area vulcanica attiva, dove sono notoriamente presenti fluidi idrotermali. Questi fluidi geotermici oltre a dare luogo appunto alle ben note manifestazioni termali, sono anche responsabili della deposizione di particolari elementi chimici, quali per esempio As, Cu, Pb, Zn, Hg (processi di arricchimento).

Questo aspetto è di primaria importanza nella interpretazione delle “anomalie” geochimiche che si riscontrano nell’area di Bagnoli.

Tutto quanto sopra è valido anche per le concentrazioni del Fe che dell’As, essendo questi elementi chiaramente correlati con il comportamento del Mn.

La distribuzione di idrocarburi totali risulta sempre superiore, sia nei piezometri all’interno del sito in esame che nei piezometri ubicati ai margini dello stesso, al limite di 10 µg/l, previsto dalla normativa vigente. Si rilevano peraltro valori elevati di idrocarburi anche nei piezometri esterni, indicando la presenza diffusa di tali composti in tutta la falda dell’area urbana napoletana. Più complessa è la distribuzione di Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA) all’interno dell’area industriale. La presenza di tali composti nelle acque superficiali risulta discontinua nel tempo e generalmente raggiunge valori elevati in alcuni focolai (*hot spots*) localizzati al margine del sito industriale con Via Diocleziano, LAMN4 e PFRN18, e, soprattutto, a valle del sito (colmata a mare).

I monitoraggi delle acque hanno evidenziato una contaminazione delle acque profonde stesse per presenza di As e IPA (fluorantene in particolare), fundamentalmente in due aree: colmata e zona denominata LAM (Laminatoi). Inoltre viene registrata una contaminazione diffusa da Mn nelle aree denominate: Acciaieria, Cockeria e Laminatoi.

Per minimizzare la migrazione dei contaminati dal sito all’ambiente circostante, sono stati messi in atto sistemi idonei a bloccare il deflusso dei contaminanti nell’ambiente circostante ed in particolare nell’area marina antistante (vedi Messa in sicurezza del sito). Va comunque fatto notare che una fonte di inquinamento di As nelle acque è rappresentata dai fluidi idrotermali delle sorgenti termali. Studi di monitoraggio effettuati sulle acque termali flegree evidenziano infatti concentrazioni di As nell’intervallo 12 -5600 ppb. Tra l’altro proprio nelle Terme Puteolane (Dazio Bagnoli) sono rilevate concentrazioni fino a 2600 ppb. Questo dato rappresenta un ulteriore evidenza dell’arricchimento delle concentrazioni metalliche determinate dalla presenza di fluidi geotermici. Le risultanze analitiche sulle acque fanno inoltre rilevare contaminazioni di Idrocarburi Totali a monte dell’area siderurgica di Bagnoli; all’interno dell’area siderurgica si hanno mediamente le stesse concentrazioni dell’area a monte, quindi tale contaminazione non è ascrivibile all’attività svolta nell’area, bensì a contaminazione diffusa.

Componente naturale e componente antropica dell’inquinamento

Come detto nell’introduzione è possibile che nell’area industriale di Bagnoli si sia verificata una sovrapposizione di una componente naturale, ascrivibile all’idrotermalismo del vulcanismo quiescente dei Campi Flegrei, ad una componente antropica, legata alle attività industriali. È possibile provare e discriminare queste due componenti?

Uno tra i più efficaci ed eleganti approcci allo studio dell’inquinamento ambientale è costituito dalle indagini isotopiche di suoli provenienti da aree contaminate. Attualmente, la sistematica degli isotopi del Pb è lo strumento più utilizzato, sia perché il Pb è uno degli elementi maggiormente utilizzati nei vari processi industriali, sia per la sua relativa immobilità geochimica. Inoltre la composizione isotopica del Pb non viene frazionata da processi industriali e ambientali, cioè la composizione isotopica di un materiale rimane immutata nel tempo e riflette le caratteristiche della sorgente (Ault et al., 1970). Le basi teoriche che consentono l’uso degli isotopi del Pb nello studio dei suoli sono abbastanza semplici. I metalli utilizzati nei vari processi industriali derivano da giacimenti di solfuri di metalli base di varia origine ed età; questi metalli, rilasciati nell’ambiente in seguito ad attività industriale, vengono adsorbiti dagli ossidi di Fe e Mn la cui formazione, a loro volta, è favorita dagli agenti atmosferici. La determinazione della composizione isotopica del Pb, unitamente alla conoscenza dei dati relativi alla concentrazione di elementi nei suoli permette di discriminare il Pb antropogenico rispetto a quello naturale, aiutandoci a definire l’origine e l’entità della contaminazione. L’utilizzo degli isotopi del Pb in studi geologico-ambientali è applicato con successo da diverso tempo (Chow e Johnstone, 1965) ed è

stato impiegato anche in studi relativi a regioni europee e mediterranee (Maring et al., 1987; Grousset et al., 1995; Hopper et al., 1991). In Italia tali studi non sono numerosi (Magi et al., 1975; Garibaldi et al., 1981; Facchetti et al., 1982; Colombo et al., 1988; Facchetti, 1989; Cochran et al., 1998; Monna et al., 1999; Tommasini et al., 2000) e non sono mai stati applicati a siti industriali dismessi. Nel caso di Bagnoli (Tarzia et al., 1999; Tarzia, 2001; Tarzia et al., 2002) con uno studio condotto autonomamente rispetto alle indagini effettuate dalla Bagnoli SpA, sono stati utilizzati dati di concentrazioni di metalli pesanti e dati di composizione isotopica del Pb nei suoli, nei riporti, nelle loppe e nelle scorie provenienti da sondaggi dell'area industriale al fine di discriminare eventuali sorgenti di inquinamento di origine antropica rispetto a quelle di origine naturale legate all'attività vulcanica (fluidi epitermali) dei Campi Flegrei.

L'uso dei rapporti $^{207/206}\text{Pb}$ e $^{208/206}\text{Pb}$ mostra come i dati si distribuiscano secondo un *trend* lineare suggerendo l'esistenza di un fenomeno di mescolamento (*mixing*) tra due *end-member*, uno di chiara origine naturale, in questo caso rappresentato dalle vulcaniti flegree, ed un altro di natura antropica. L'ampia sovrapposizione dei dati isotopici non permette di distinguere nettamente queste due componenti, tuttavia ci consente di affermare che la componente geogenica (naturale) è dominante rispetto a quella antropica.

Molto utili al nostro scopo sono anche i grafici che riportano la concentrazione dei metalli rispetto ai rapporti isotopici $^{207/206}\text{Pb}$. Ad esempio, per il Cr i valori sperimentali si distribuiscono secondo due *cluster* spaziali ben separati: il primo è costituito dai suoli dell'area di Bagnoli, il secondo è formato dai riporti i cui valori si stabilizzano attorno a 0,85 – 0,86 per concentrazioni maggiori ai 40 ppm di Cr. Inoltre, per valori di concentrazione di Cr decrescenti, i dati sembrano convergere verso i valori caratteristici dei suoli (valori naturali) dell'area di Bagnoli. Un simile andamento dei dati si riscontra anche per i dati relativi ad altri elementi in funzione del rapporto isotopico $^{207/206}\text{Pb}$ (Figura 9).

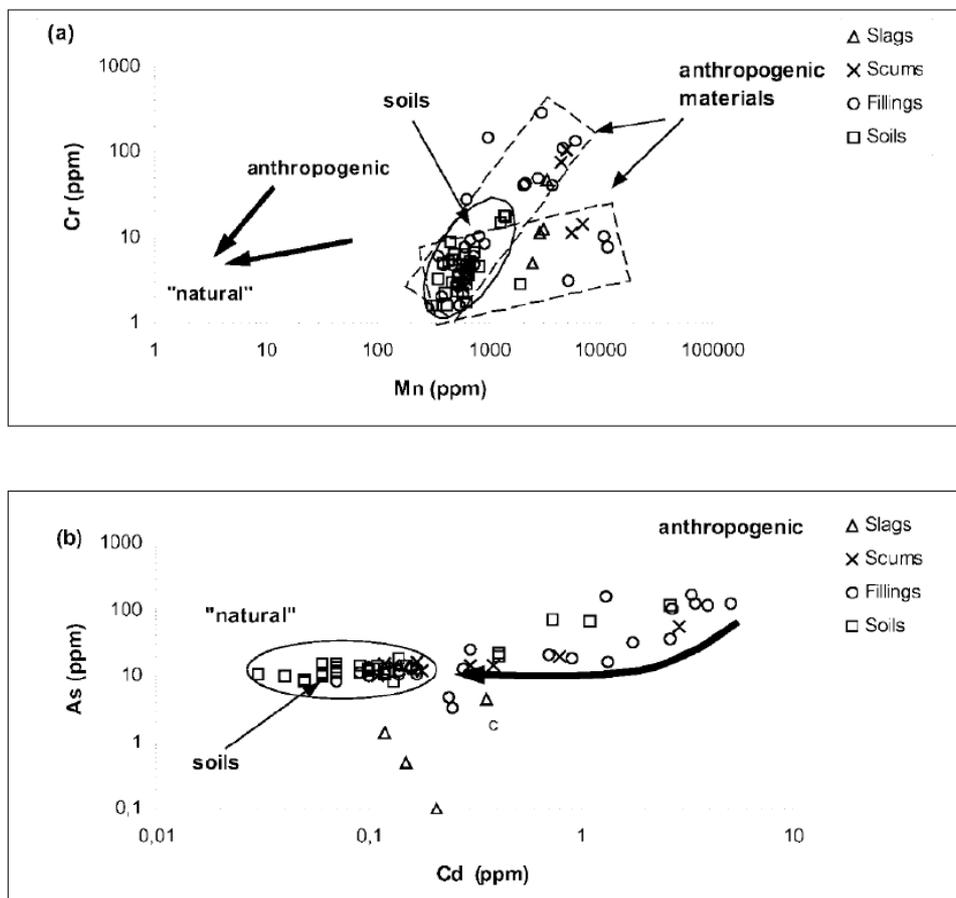


Figura 9 – Concentrazioni di Mn rispetto a Cr. Questo grafico mostra la convergenza dei dati verso i valori naturali (freccie in neretto) e suggerisce l'esistenza di una correlazione fra contaminazione e materiali quali loppe e scorie di altoforno.

Questi grafici quindi ci confermano l'esistenza di una contaminazione caratterizzata da valori isotopici assai simili a quelli dei suoli (valori naturali). I rapporti isotopici $^{207/206}\text{Pb}$ in funzione dei rapporti $^{208/206}\text{Pb}$ individuano due *trends* di distribuzione dei dati, convergenti verso i valori tipici del Tufo Giallo Napoletano (D'Antonio et al., 1995)(Figura 10).

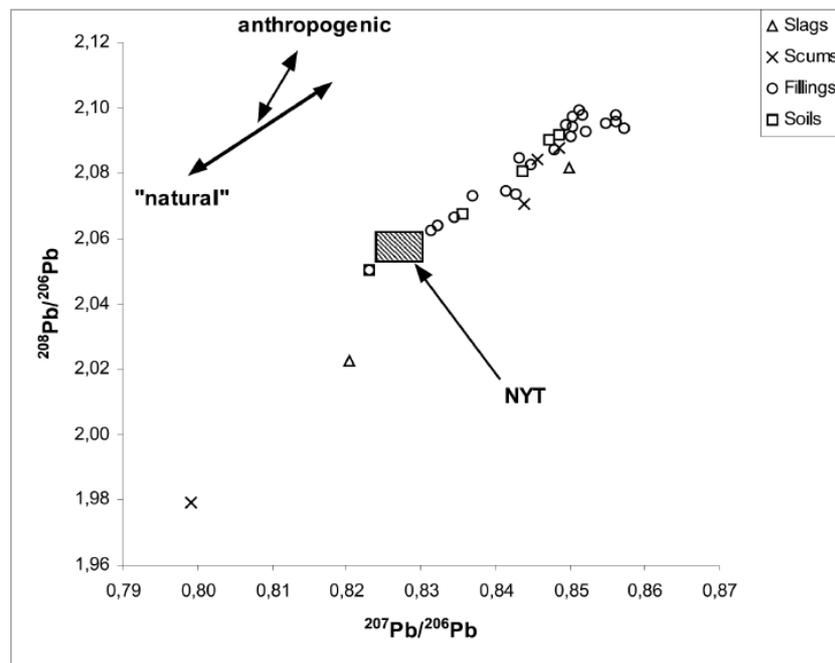


Figura 10 – Grafico dei rapporti di $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ rispetto a $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$. Nel diagramma è riportato anche l'errore di 2σ . La zona tratteggiata rappresenta il campo rappresentativo della composizione del Tufo Giallo napoletano (NYT) (D'Antonio et al., 1995). Le frecce indicano i trends di mescolamento (*mixing*) fra tre potenziali end-members del Pb

Infine, in figura 11 vengono plottati i rapporti isotopici (dati bibliografici) di possibili *end-members* quali benzine, *aerosols* italiani ed europei e carbone confrontati con quelli dei campioni di Bagnoli. Per quanto riguarda le benzine italiane, solo pochi valori, e precisamente quelli delle benzine caratterizzate da additivi provenienti dal Messico e dal Peru, appaiono consistenti con i dati di Bagnoli. Lo stesso si verifica per gli *aerosols* italiani ed europei; solo un aerosol di origine africana (Senegal) risulta consistente con i dati di Bagnoli.

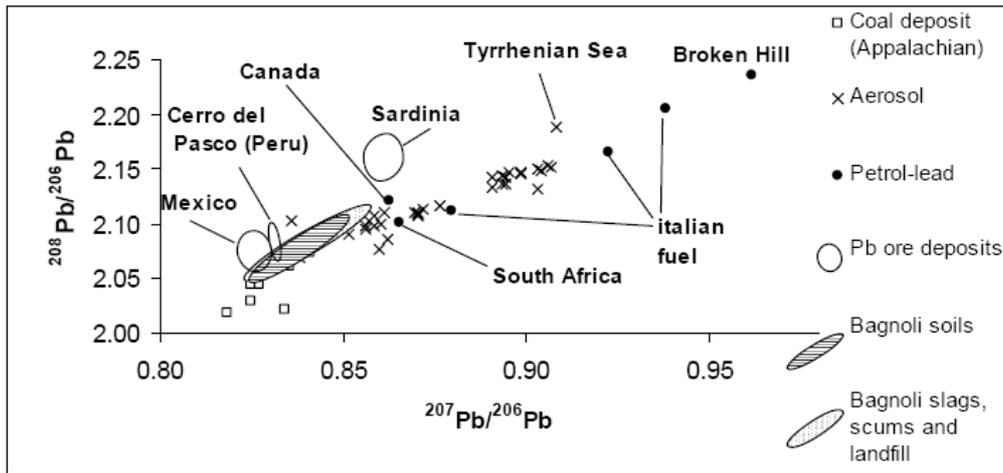


Figura 11 - Composizione dei rapporti isotopici $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ rispetto a $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ dei campioni utilizzati da Tarzia et al. (2002) e dati da letteratura (Maring et al., 1987; Grousset et al., 1995; Monna et al., 1999; Tommasini et al., 2000).

Oltre al Tufo Giallo Napoletano, già discusso in precedenza, anche i valori dei rapporti isotopici riscontrati per i carboni provenienti dagli Stati Uniti orientali (Monti Appalachi) mostrano di essere consistenti con i dati di Bagnoli; questo è coerente con il fatto che il carbone di provenienza americana entrava nel ciclo di produzione dell'acciaio come additivo della carica dell'altoforno. Per quanto riguarda le materie prime di lavorazione invece, l'Italsider importava i minerali di Fe principalmente dalla Liberia, dal Canada e subordinatamente dall'India e da altre nazioni. Purtroppo gli unici dati isotopici del Pb disponibili attualmente in letteratura sono quelli relativi alle formazioni ferrifere di Loulo, Scudo di Nimba (Liberia, Africa occidentale) le quali sono caratterizzate da valori isotopici bassi del $^{207/206}\text{Pb}$ (0,439 – 1,014) e $^{208/206}\text{Pb}$ (1,022 – 1,738), non compatibili con i valori riscontrati nei campioni di Bagnoli.

I dati chimici ed isotopici sperimentali indicano chiaramente l'esistenza di un fenomeno di mescolamento (*mixing*) tra una componente dominante, di chiara origine naturale (vulcaniti rimaneggiate subaeree e marine), ed una componente di origine antropica. Un contributo primario alla componente naturale è fornito dai fluidi idrotermali associati al vulcanismo attivo dei Campi Flegrei, area interessata notoriamente dalla presenza di sorgenti idrotermali e fumarole. La contaminazione naturale dovuta alla risalita di acque geotermiche, notoriamente arricchite in metalli pesanti e tossici (As, Cu, Pb, Hg) è tra l'altro confermata dalle elevate concentrazioni di metalli presenti nelle sorgenti termali delle aree limitrofe al sito industriale di Bagnoli (p. es. le Terme di Bagnoli, Dazio, Terme Puteolane, Stufe di Nerone) e della vicina isola di Ischia (Daniele, 2000; Lima et al., 2001; Lima et al., 2003). Per esempio l'As nelle Stufe di Nerone raggiunge 8000 ppb, mentre nelle sorgenti termali di Ischia i valori dell'As sono maggiori di 1500 ppb. I valori isotopici dei suoli e dei riporti sono simili tra di loro; l'ampia sovrapposizione dei dati isotopici sperimentali non permette di distinguere nettamente la componente naturale da quella antropica, rendendo difficile una precisa caratterizzazione delle sorgenti di contaminazione. Il *trend* dei rapporti isotopici dei riporti e dei suoli di Bagnoli si discosta alquanto dal *trend* antropogenico "classico", definito dai valori dei residui di combustione dei carburanti e dagli aerosol di origine urbana ed industriale in altre parti del mondo. Questo risultato fa ipotizzare che per l'area in esame esista una sorgente di contaminazione locale, relativamente all'uso dei combustibili fossili e ai fumi industriali emessi. In minima parte solo le benzine italiane con additivi di provenienza messicana o peruviana possono essere considerate agenti di contaminazione, mentre un ruolo più importante può essere attribuito ai carboni che erano utilizzati in gran quantità durante il ciclo produttivo industriale. Non sono però da escludere altre possibili sorgenti di contaminazione per le quali non sono disponibili i dati (le vernici utilizzate per gli impianti, gli oli minerali e gli scarichi incontrollati di reflui organici ed inorganici).

L'incidenza del contributo naturale (fluidi idrotermali) nella determinazione dell'inquinamento metallico, rende per gli ex siti industriali di Bagnoli del tutto inutile quindi un intervento di bonifica per questo tipo di contaminazione dei suoli in quanto ogni intervento sarebbe vanificato da un continuo apporto "naturale" di inquinanti metallici. L'inutilità di interventi di bonifica relativamente alla grossa parte delle componenti metalliche è rafforzata dalla constatazione dell'elevata stabilità geochimica delle loppe e delle scorie. I *test* di cessione evidenziano infatti che né le loppe né le scorie rilasciano metalli nei suoli e nella falda freatica.

Caratterizzazione chimico-strutturale dei materiali costituente i riporti e test di cessione.

Allo scopo di caratterizzare e misurare la stabilità chimica degli elementi metallici nei materiali componenti il riporto, sono state effettuate analisi chimico-strutturali e test di cessione su loppe di altoforno, scorie di acciaieria, minerali di ferro, fossile e fanghi di acciaieria. Il programma di studio è stato finalizzato a: a) valutare le problematiche ambientali associate ai riporti; b) definire i criteri e le modalità per il recupero dei sottoprodotti presenti nell'area ex Italsider. L'obiettivo primario è stato quello di valutare la tendenza al rilascio dei componenti inquinanti presenti nei materiali in questione verso l'ambiente esterno, avendo come risolto la valutazione del potenziale rischio associato ai materiali del riporto nei confronti della falda acquifera. Per raggiungere questo obiettivo i materiali del riporto sono stati sottoposti a diverse tipologie di test di cessione.

I test di cessione e le relative analisi dell'eluato sono state condotte su loppe, scorie, minerali, fossile e fanghi di acciaieria. I test utilizzati sono: NEN 7343 – *Column test*; NEN 7349 – *Serial batch test*; Normativa Italiana All. 3 D.M. 05/02/98. Il materiale prima indicato è stato inoltre sottoposto alle seguenti analisi strutturali qualitativi: a) analisi chimiche; b) analisi di microscopia elettronica a scansione (SEM-EDS); c) diffrattometria a Rx (DRX); d) analisi di microscopia ottica (MOP). Dall'analisi dei risultati ottenuti dall'indagine microscopica e dai test di cessione si può concludere che i materiali analizzati (loppa, scoria, minerale e fossile) sono costituiti da configurazioni microstrutturali stabili, non solo rispetto ai tempi ed alle condizioni ambientali di attacco simulati dai test di cessione selezionati, ma soprattutto per l'effettiva assenza di microstrutture isolate costituite da elementi pesanti, i quali si possono ragionevolmente pensare, intrappolati nei reticoli delle fasi microstrutturali individuate. Ne consegue, quindi, che una eventuale eluizione di questi elementi è da considerarsi quanto mai improbabile e che i materiali siderurgici residui (loppa, scoria, minerale e fossile), giacenti nel sito industriale ex-Italsider di Bagnoli, non possono avere alcuna influenza sulla qualità delle acque di falda. Alle stesse conclusioni in merito all'impatto ambientale di materiale residuo delle lavorazioni siderurgiche, sono peraltro pervenute numerose ricerche effettuate nell'ambito della Comunità Europea.

Bonifica da amianto

Il Piano CIPE prevedeva di bonificare i materiali contenenti amianto nei siti dell'Eternit e nel centro siderurgico ex ILVA. Al 4.3.2000 è stata completata la bonifica da amianto per il 90% degli edifici, dei depositi e dei piazzali dei siti. Nel corso delle attività di bonifica, in accordo con le ASL competenti si sono effettuati: 915 campionamenti ed analisi per la valutazione delle fibre aereo-disperse nelle aree limitrofe ai siti da bonificare, senza mai rilevare concentrazioni superiori ai valori limite considerati come accettabili dall'Organizzazione Mondiale della Sanità; 1044 campionamenti ed analisi nelle aree del sito ex Eternit e 56 campionamenti ed analisi nell'area ex ILVA, per il controllo in tempo reale della dispersione delle fibre all'interno dei cantieri di lavoro.

Progetto preliminare di bonifica

Da tutto quanto sopra illustrato, alla conclusione delle attività di monitoraggio è risultato evidente che la contaminazione dei suoli ex-industriali di Bagnoli fosse rappresentata, in aree *spots* ben individuate, dalla presenza di Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA). In particolare la presenza di IPA risultava essere di particolare entità nell'Area di Colmata a mare (Figura 7B). Le analisi riguardanti l'area di Colmata a mare venivano effettuate, nel 1999, dai Laboratori ICCRAM, su

incarico del Ministero dell'Ambiente, in quanto l'area di colmata (così come l'arenile) é di competenza dell'Autorità portuale. In considerazione dell'elevato livello di contaminazione da parte di IPA dei materiali della Colmata, venne decisa, con il supporto del parere della CE, la loro completa rimozione, destinando gli stessi materiali al riempimento della costruenda darsena di Levante del Porto di Napoli. Ulteriori indagini effettuate da parte dell'ICCRAM, in data recente (2006), sui fondali marini antistanti la Colmata e sulle due spiagge laterali alla stessa, dimostrano la presenza di IPA al di sopra della soglia consentita (200 mg/Kg) nei sedimenti marini (DM 367/03), distribuiti lungo un asse di dispersione, perpendicolare alla linea di costa e la cui origine è, inequivocabilmente, da attribuire all'area di Colmata (Fig. 12)

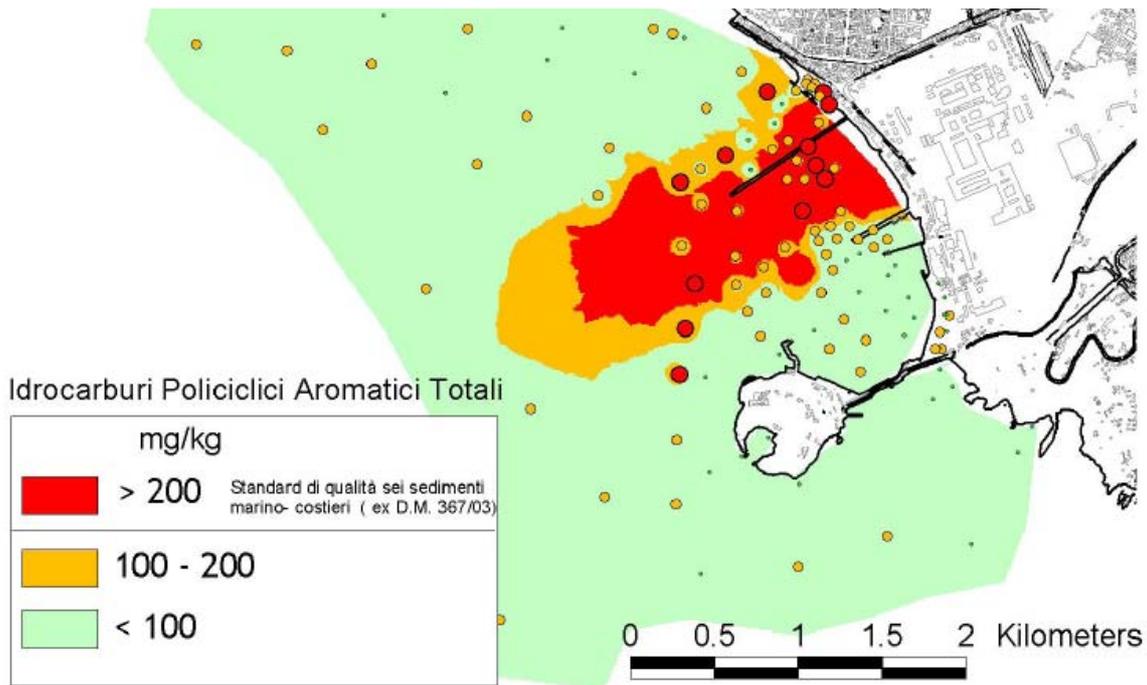


Figura 12 – Distribuzione degli IPA nei sedimenti marini dei fondali antistanti la Colmata a mare

La Società Bagnoli SpA, formulò un progetto preliminare di bonifica dei suoli ex-industriali sulla base dei risultati geologici, idrogeologici e chimico-fisici ottenuti dalle caratterizzazioni del sito da bonificare e delle sperimentazioni e studi eseguiti per verificare l'applicabilità e l'efficacia di alcuni trattamenti sui materiali presenti nel sottosuolo del sito industriale di Bagnoli, identificati in due tipologie: riporti antropici e suoli naturali.

Essenziale ai fini del progetto fu l'individuazione delle metodologie adatte che permettessero di raggiungere i valori di concentrazione limite degli inquinanti imposte dalle normative. Nella Tabella 3 vengono riportati i valori di concentrazione limite accettabili nel suolo e nel sottosuolo riferiti alla specifica destinazione d'uso dei siti da bonificare, imposti dal DM 471/1999 e integrati dai valori del *background* rilevati nelle aree limitrofe a quelle del sito siderurgico. Nella Tabella 4 è riportato un riepilogo dei processi di bonifica indagati, su cui sono stati effettuati studi di fattibilità e test per verificarne l'applicabilità al sito di Bagnoli.

Parametri	D.M.471/99 Siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale	D.M.471/99 Siti ad uso commercial and industrial	Valori di fondo naturale (background)
	(mg/Kg)	(mg/Kg)	(mg/Kg)
pH	-	-	-
Conductività	-	-	-
Solfuri	-	-	-
Solfati	-	-	-
Fluoruri	-	-	-
Cianuri liberi	1	100	-
Cianuri complessi	-	-	-
Zolfo elementare	-	-	-
Arsenico	20	50	37
Bario	-	-	-
Berillio	2	10	1-2
Cadmio	2	15	2
Cobalto	20	250	130
Chromo Totale	150	800	150
Chromo esavalente	2	15	-
Mercurio	1	5	1
Molibdeno	-	-	-
Manganese	-	-	-
Nichel	120	500	120
Piombo	100	1000	112
Rame	120	600	120
Stagno	1	350	15
Vanadio	90	250	110
Zinco	150	1500	158
Fenolo	1	60	-
Benzene	0,1	2	-
Toluene	0,5	50	-
Xilene	0,5	50	-
Idrocarburi totali	50	750	105
Monoclorobenzene	0,5	50	-
2 - clorofenolo	0,5	25	-
2,4 - diclorofenolo	0,5	50	-
2,4,6 - triclorofenolo	0,01	5	-
pentaclorofenolo	0,01	5	-
1,2 - dicloroetano	0,2	5	-
1,1,2 - tricloroetano	0,5	15	-
Pirene	5	50	-
Benzo(a)antracene	0,5	10	-
Crisene	5	50	-
Benzo(b)fluorantene	0,5	10	-
Benzo(a)pirene	0,1	10	-
Dibenzo(a,h)antracene	0,1	10	-
Benzo(g,h,i)perilene	0,1	10	-
Indeno(1,2,3 cd)pirene	0,5	-	-
Dibenzo(a,i)pirene	0,1	10	-
Sommatoria I.P.A.	10	100	-
Policlorobifenili	0,001	5	-

Tabella 3 – Valori di concentrazioni limite ammissibili nel suolo e nel sottosuolo (D.M. 471/1999)

BATNEEC(*) PER IL SITO BAGNOLI

PROCESSI IN SITU		TEST (**)	GIUDIZIO APPLICABILITA'
BIOLOGICI	Bioventilazione Bioinsufflazione+Bioventilazione	F	NON APPLICABILE
TERMICI	-	-	-
CHIMICO-FISICI	-	-	-

PROCESSI EX-SITU		TEST (**)	GIUDIZIO APPLICABILITA'
BIOLOGICI	Compostaggio in biopila	F	APPLICABILE CON RISERVA
TERMICI	Desorbimento termico	L. P	PIENAMENTE APPLICABILE
CHIMICO-FISICI	Lavaggio	F	PIENAMENTE APPLICABILE
RIUTILIZZO	Riutilizzo in cementificio come MPS	S	PIENAMENTE APPLICABILE

Tabella 4 - Sintesi dei risultati delle sperimentazioni e studi condotti sulle migliori tecnologie disponibili a costi sostenibili e applicabili al sito Bagnoli (BATNEEC = Best Available Technology Not Entailing Excessive Costs; L = Test di laboratorio; P = Test pilota; F = Test sul terreno; S = Studio della fattibilità tecnica).

Il progetto preliminare di bonifica si atteneva alle seguenti linee guida: a) minimizzare l'impatto delle lavorazioni verso l'ambiente esterno; b) fare massimo ricorso al riutilizzo del materiale; c) contenere i costi entro valori accettabili.

Le sperimentazioni svolte e le caratterizzazioni dei materiali da bonificare, in ossequio alle sopraindicate linee-guida, giustificavano le metodologie adottate mirate a: a) decontaminare i suoli ed i riporti dai composti organici (sostanzialmente idrocarburi totali e idrocarburi policiclici aromatici) fino ai valori tabellari del DM 471/99, integrato dai valori verificati sulle aree flegree limitrofe all'area industriale di Bagnoli; b) ridurre drasticamente i volumi dei metalli pesanti presenti in area, in conseguenza delle tecniche prescelte per il trattamento degli inquinanti organici, che assicuravano, fra l'altro, il recupero dei materiali in cicli produttivi come Materie Prime Seconde (MPS); c) trattare i focolai (*hot-spots*) inquinati da metalli pesanti in cicli produttivi, in modo da assicurare il recupero dei materiali come MPS; d) lasciare in sito i suoli o i riporti con concentrazioni in metalli pesanti superiori in modo marginale ai valori tabellari, certi che da essi non ci fosse rilascio di inquinanti in falda e tossicità, come dimostrato dagli studi e prove di laboratorio eseguiti, in modo da non introdurre alcun vincolo al riutilizzo delle aree; e) trattare i focolai di inquinamento delle acque di falda mediante pompaggio delle stesse e invio all'impianto di trattamento delle acque della barriera idraulica, prevista in un apposito progetto preliminare per la messa in sicurezza dell'area industriale di Bagnoli; f) ricostruire la copertura pedologica delle aree bonificate con metodologie avanzate nelle aree Parco e Parco Sport, previste dal Comune di Napoli nel progetto dell'area occidentale.

Il progetto sviluppava una metodologia di bonifica, verificata dagli studi e dalle prove sperimentali effettuate, che si avvale di cicli industriali (cementifici) e di trattamenti operanti attualmente su scala industriale. I cicli di trattamento previsti sono in funzione del livello di contaminazione dei composti organici secondo la suddivisione riportata nella Tabella 5.

Livello di contaminazione	Intervalli di concentrazione	
	Idrocarburi totali	I.P.A. (singolo)
A	$C_i < L_{bg}$	$C_i < L_a$
B	$L_{bg} < C_i < L_b$	$L_a < C_i < L_b$
C	$C_i > L_b$	$C_i > L_b$

Tabella 5 - Criteri di classificazione in livelli di concentrazione (C_i = Concentrazione misurata associata all'iesimo carotaggio; L_{bg} = Limite di background; L_a = Limite tab. I col A del D.M. 471/99; L_b = Limite tab. I col. B del D.M. 471/99).

Per i metalli pesanti si considerano focolai di contaminazione (*hot spots*) i materiali con concentrazione del singolo metallo che supera il limite riportato in Tabella 1, colonna B, del DM 471/99 e in presenza di eluati con concentrazioni di metalli superiori ai valori limite indicati dal D. Lvo 152/99 per le acque sotterranee.

Metodologia di bonifica

In questa fase preliminare del progetto di bonifica, sulla base dei risultati analitici ottenuti alla fine della II Fase di monitoraggio (sondaggi con maglia 25 m x 25 m e 50 m x 50 m), c'era la necessità di effettuare una indagine per approfondire la reale quantità dei riporti e dei suoli da trattare mediante una successiva caratterizzazione a maglia stretta durante la fase esecutiva dell'attività di bonifica. Poiché la distribuzione areale della rete di misure effettuate durante la seconda fase del monitoraggio ha un indice di disomogeneità a causa di impedimenti logistici, l'applicazione di un sistema euclideo per il calcolo dei volumi, portava sicuramente a sovrastimare i volumi, la CE procedette al calcolo dei volumi indagati (e quindi di quelli interessati dalle attività di bonifica) utilizzando la metodologia della geometria frattale. Tale calcolo eseguito con la collaborazione di ricercatori del Dipartimento di Geofisica e Vulcanologia dell'Università di Napoli "Federico II", consentì una riduzione del 26 % dei volumi da trattare rispetto ad analogo calcolo effettuato con la classica geometria euclidea da parte della Bagnoli SpA. Sulla base quindi di calcoli effettuati con metodologia frattale risultò che i volumi di terreni, fino al livello di falda, da trattare nelle operazioni di bonifica fossero: 4.063.910 m³ per i riporti e 3.190.371 m³ per i suoli.

La Tabella 6 riporta il riepilogo dei volumi interessati dalle attività di bonifica, suddivisi per sub-area.

RIEPILOGO DEI VOLUMI INTERESSATI DALLE ATTIVITA' DI BONIFICA					
RIPORTI					
SUB-AREA	VOLUMI DI RIPORTO FINO ALLA FALDA (m ³)	METALLI		HC+IPA	
		Volumi con concentrazioni superiori ai limiti (m ³)	%	Volumi con concentrazioni superiori ai limiti (m ³)	%
DIR	313.092	2.111.469	67,5	155.029	49,5
PFR	496.705	446.412	89,9	348.759	70,2
AGL	261.988	152.038	58,0	62.499	23,9
OSS	258.125	96.641	37,4	61.305	23,7
CAM	400.678	257.214	64,2	36.778	9,2
AFO-COK	351.778	278.816	79,3	173.660	49,4
TNA	585.611	468.812	80,1	280.419	47,9
LAM-MESTA	416.948	307.347	73,7	158.417	38,0
LAM-MAG	630.608	556.155	88,2	266.577	42,3
ACC	348.377	279.461	80,2	122.129	35,1
TOTALE	4.063.910	3.054.365	75,2	1.665.572	41,0
SUOLI					
SUB-AREA	VOLUMI DI RIPORTO FINO ALLA FALDA (m ³)	METALLI		HC+IPA	
		Volumi con concentrazioni superiori ai limiti (m ³)	%	Volumi con concentrazioni superiori ai limiti (m ³)	%
DIR	407.023	80.703	19,8	22.931	5,6
PFR	48.167	46.431	96,4	8.659	18,0
AGL	256.437	62.732	24,5	6.069	2,4
OSS	291.317	79.001	27,1	18.795	6,5
CAM	1.545.649	666.634	43,1	69.527	4,5
AFO-COK	109.386	29.266	26,8	13.540	12,4
TNA	39.485	13.699	34,7	1.974	5,0
LAM-MESTA	352.528	69.395	19,7	7.697	2,2
LAM-MAG	28.844	8.546	29,6	2.747	9,5
ACC	111.536	26.672	23,9	4.346	3,9
TOTALE	3.190.372	1.083.079	33,9	156.285	4,9

Tabella 6 - Riepilogo dei volumi interessati dalle attività di bonifica.

Secondo la CE i volumi interessati dalla bonifica si sarebbero ridotti ulteriormente in fase operativa. Nella fase operativa si sarebbe dovuto procedere alla definizione dei volumi effettivamente contaminati o non contaminati relativamente ad ognuna delle maglie classificate durante la seconda fase di monitoraggio (maglia 25 m x 25 m). Questo stadio della caratterizzazione prevedeva l'effettuazione di una nuova serie di sondaggi e analisi su ognuna delle maglie relative ai tre livelli di contaminazione A, B, C (Tabella 5), adottando i criteri di seguito descritti.

Ad ognuna delle maglie di lato 25 m relative ai tre livelli A, B o C è associata una superficie di 625 m², ovvero un volume, considerando una profondità media dei sondaggi effettuati pari a 5 m, di circa 3000 m³. Al fine di ottimizzare i flussi di materiale da inviare a trattamento sarebbe stato necessario, quindi, valutare quali fossero all'interno di ogni maglia di indagine i materiali effettivamente contaminati. Questa era pertanto una fase di valutazione di dettaglio di come la contaminazione, evidenziata durante le attività di monitoraggio, fosse effettivamente distribuita all'interno della singola maglia. Per la delimitazione dei volumi da rimuovere si prevedeva, quindi, di suddividere ognuna delle maglie 25 x 25 m in 9 sub-maglie secondo lo schema riportato in figura 13.

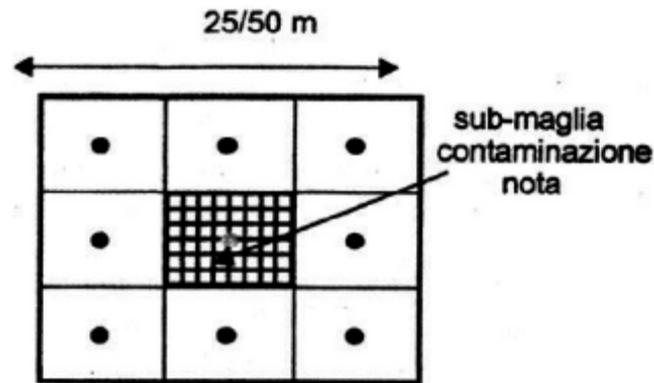


Figura 13 – Modalità di suddivisione delle maglie di indagine in sub-maglie

La maglia centrale contiene il sondaggio effettuato nella fase di monitoraggio e pertanto essa era già classificata in base alle risultanze analitiche ottenute dalla fase di monitoraggio. Viceversa le 8 sub-maglie di contorno a quest'ultima avrebbero dovuto essere classificate mediante l'effettuazione di nuovi sondaggi, realizzati o mediante trincee o mediante carotaggi e relative analisi chimiche per la determinazione dei parametri caratterizzanti quali, ad esempio, gli idrocarburi totali e gli IPA. A seguito di tale attività le 8 sub-maglie avrebbero dovuto venire classificate, secondo le modalità prima descritte, con contaminazione di livello: A, B o C.

I trattamenti di bonifica interessanti i materiali fino al livello di falda, si ponevano i seguenti obiettivi: a) asportazione integrale della componente organica al di sopra dei limiti imposti nei materiali presenti nel sito; b) asportazione della componente inorganica che presenta eluati al di sopra dei limiti imposti dalla L. 152/99; c) ripristino superficiale e ricostruzione delle coperture pedologiche nelle aree Parco e Parco-Sport; nell'area destinata a Spiaggia il livellamento veniva previsto a circa -2,2 m rispetto al preesistente piano campagna.

Per il conseguimento di tali obiettivi si prevedevano più cicli di trattamento, come di seguito riportato:

Trattamento di materiali inquinati da composti organici: a) vagliatura dei riporti sia a livello di contaminazione A che C; b) lavaggio delle frazioni fini a livello di contaminazione B con granulometria compresa fra 3 e 10 mm; c) lavaggio delle frazioni grossolane a livello di contaminazione B e C; d) lavaggio dei suoli a livello di contaminazione B e C; e) desorbimento termico in cementificio dei materiali (suoli e riporti) a livello di contaminazione B e C.

Trattamento di materiali inquinati da metalli pesanti: a) vagliatura; b) invio a cementificio dei focolai di contaminazione di metalli pesanti.

Sistemazione superficiale dell'area: a) livellamento superficiale e ricostruzione delle coperture pedologiche nelle aree destinate a Parco e a Parco-Sport, secondo la destinazione d'uso indicata dal Comune di Napoli.

Il progetto si integrava, inoltre, con la messa in sicurezza delle acque di falda la cui realizzazione e gestione avrebbe consentito di ridurre l'impatto sul sistema idrico e di condurre le operazioni di bonifica in condizioni di sicurezza. In presenza di focolai di contaminazione delle acque di falda, all'interno del sito si prevedeva l'installazione di pozzi di emungimento per pompaggi locali ed invio delle acque all'impianto di trattamento a servizio della messa in sicurezza.

Sulle aree bonificate, dove erano state effettuate operazioni di demolizioni e scavo, si sarebbe eseguita una vasta attività di spianamento, propedeutica ad un intervento teso alla ricostruzione

pedologica dei profili del terreno nelle aree in cui è previsto il Parco e il Parco-Sport, su di una superficie di circa 1.200.000 m².

Il costo complessivo del progetto di bonifica, veniva stimato, sulla base dei calcoli della CE (che avevano portato ad una riduzione del 26% rispetto alle stime effettuate dalla Bagnoli SpA) in 247.606 milioni (247, 6 Miliardi di Lire).

Messa in sicurezza del sito

Nel corso della caratterizzazione del sito venne riscontrata una contaminazione delle acque sotterranee e dei suoli da parte di composti organici (Idrocarburi Totali e IPA - Idrocarburi Policiclici Aromatici). Per quanto riguarda i suoli, come illustrato nelle pagine precedenti, le operazioni di bonifica previste all'interno del sito industriale avrebbero portato al risanamento dell'area ed al suo riutilizzo secondo le destinazioni previste. Per quanto riguarda le acque fu individuata una contaminazione diffusa da IPA dell'ordine di 1 ug/l, accompagnata da *hot spots* in cui le concentrazioni salivano a qualche unità di ug/l, come ad esempio nel settore nord (VAR6) e in quello sud (LAM N4).

Per la messa in sicurezza furono esaminate 3 ipotesi progettuali: a) barriera mediante pozzi di emungimento; b) diaframma plastico cemento - bentonite; c) sbarramento con *jet grouting* (iniezione aggiuntiva di acque).

Fu prescelta la soluzione che prevedeva la costruzione di una barriera idraulica (pozzi di emungimento da collegare ad un impianto di trattamento delle acque), per impedire che i contaminanti organici, riscontrati nelle acque sotterranee e nei suoli, si trasferissero, mediante deflusso idrico superficiale o sotterraneo all'esterno del sito (in particolare nel mare antistante) (Figura 19). Il costo dell'intervento era di circa 2,5 miliardi di lire, con costi di esercizio annui di circa 1,5 miliardi.

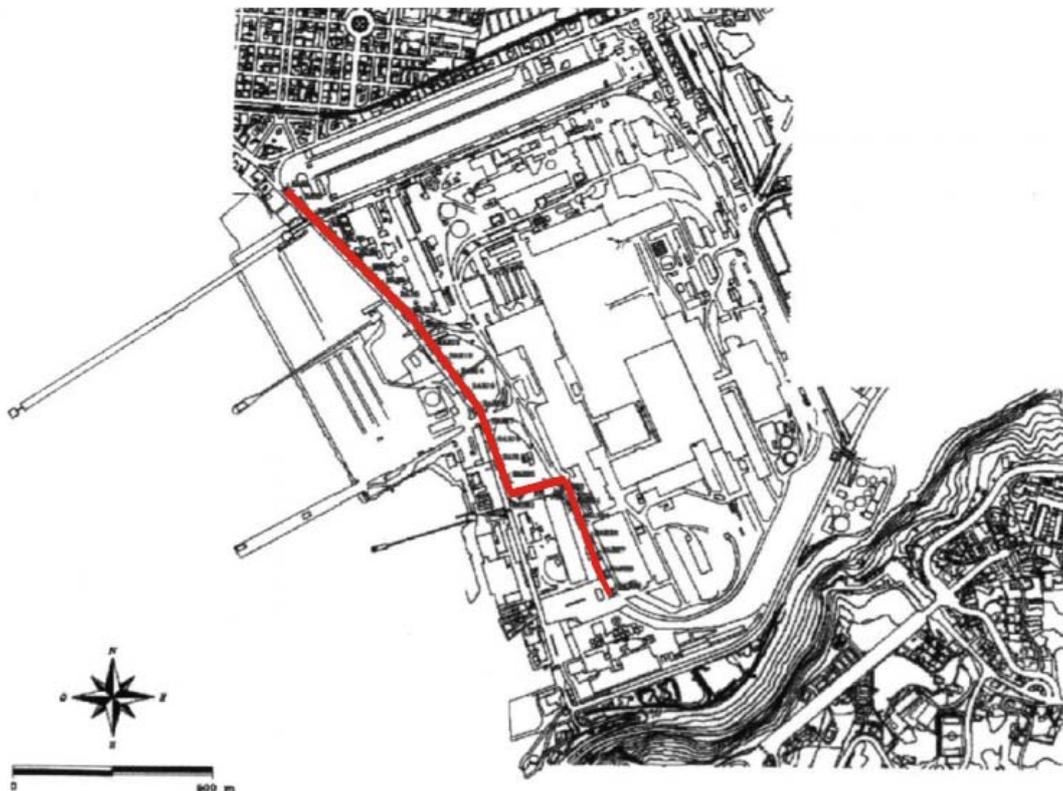


Figura 14 - Barriera idraulica a monte della linea di costa.

La barriera avrebbe dovuto essere costituita da 29 pozzi con interasse pari a 50 m, disposti lungo un allineamento della lunghezza complessiva di circa 1500 m. In base ai dati preliminari a disposizione, tale assetto avrebbe consentito da un lato il completo sbarramento del fronte inquinante e dall'altro l'ottimizzazione delle portate emunte in modo tale da minimizzare gli abbassamenti e quindi di ostacolare, per quanto possibile, l'ingresso di acqua salata.

L'efficacia del sistema avrebbe operato sia nei confronti dell'arresto della migrazione di inquinanti verso il mare sia, parzialmente, nei riguardi della colmata a mare dove risiedono altri suoli contaminati. Fu inoltre dimensionato preliminarmente l'impianto di trattamento delle acque provenienti dalla barriera idraulica tenendo presente che la sua realizzazione avrebbe supportato anche probabili esigenze legate alle operazioni di bonifica dei terreni. La necessità di supporto del trattamento delle acque alle operazioni di bonifica potette essere in quella fase solo ipotizzata e si ritenne di potervi fare fronte solo realizzando una vasca di equalizzazione in testa all'impianto.

Problema Laboratorio di Analisi

Con l'entrata in vigore della Legge n. 388 del 23.12.2000, la CE veniva eliminata. Nell'ultimo atto ufficiale, in cui fu richiesta la presenza della CE, cioè in sede di Conferenza di Servizi (fine 2002), e quando ormai la competenza sulle attività di bonifica, era passata dalla Bagnoli SpA alla *Bagnolifutura* Spa, fu prospettata l'ipotesi della costituzione di un Laboratorio di Analisi all'interno della *Bagnolifutura* SpA. Tale ipotesi, in verità, era stata sottoposta all'approvazione della CE già dalla Bagnoli SpA, ricevendo un responso negativo da parte della CE, anche in considerazione dei costi assolutamente esorbitanti che si prospettavano per tale operazione. In sede di Conferenza dei Servizi si volle configurare detto costituendo Laboratorio come Centro di Eccellenza di Ricerca. La CE manifestò parere assolutamente negativo per tale ipotesi (confermando il parere negativo già precedentemente formulato alla Bagnoli SpA). Il Laboratorio che si proponeva di costituire, che secondo la CE avrebbe potuto essere al più classificato come Centro di Servizi, non trovava alcuna giustificazione né tecnica né economica. La CE suggeriva di rivolgersi al mercato internazionale per le analisi chimiche, in quanto si sarebbero ottenuto risultati di qualità (la CE rilevava che un siffatto Laboratorio non avrebbe potuto offrire, in considerazione dei tempi brevi in cui doveva diventare operativo, alcuna garanzia sulla qualità delle analisi prodotte) e certamente a costi inferiori (1/5) rispetto a quelli previsti dal progetto di bonifica. In questo contesto la CE suggeriva di realizzare nel sito di Bagnoli solo una struttura leggera per la preparazione dei campioni da avviare ad analisi. Fu inoltre rimarcato da parte della CE come la costituzione di un Laboratorio interno alla *Bagnolifutura* SpA, costituisse, a prescindere dalle considerazioni di qualità e di costi delle analisi, un'operazione che si configurava come la messa in atto di un palese conflitto di interesse, in quanto non poteva essere la stessa Società incaricata di effettuare la bonifica a determinare e certificare cosa fosse inquinato o meno. Fu fatto notare che se proprio si volevano spendere fondi strutturali della Regione Campania per mettere in funzione un improbabile Centro di Eccellenza, sarebbe stato molto più utile devolvere tali fondi all'Ente pubblico di riferimento in Campania, nel settore: l'ARPAC. Non si capiva allora, e non si comprende adesso, perché ci fosse la necessità di duplicare una struttura pubblica di analisi chimiche ambientali nella Regione Campania. Risulta, che nonostante, i pareri negativi espressi dalla CE, tale Laboratorio sia stato costituito e sia operante in ambito *Bagnolifutura* SpA, con il nome di Centro Campano Tecnologie Ambiente.

Nel rispetto della verità, va anche rimarcato, come riportato in 85 verbali ufficiali, che la CE nell'esercizio delle sue funzioni, sulla base di quanto prescritto dalla Legge, in fase di approvazione di pagamenti di avanzamento lavori, non ha autorizzato la liquidazione di ingenti somme di denaro a fronte di lavori concessi in appalto dalla Bagnoli SpA nel corso delle operazioni di smantellamento di manufatti industriali (per non conformità con le normative vigenti nelle procedure di appalto), così come non ha mai autorizzato la liquidazione di collaudatori (per mancanza dei requisiti di Legge) e di consulenze tecnico-scientifiche dell'Agenzia ARPA

dell'Università di Napoli Federico II. La CE, in quest'ultimo caso, ha autorizzato il pagamento di consulenze solo per importi fino al massimo consentito per Legge per l'affidamento di incarichi di servizio, cioè fino ad un massimo di 400 milioni di Lire.

Bibliografia

- Armienti P., Barberi F., Bizouard H., Clocchiatti R., Innocenti F., Metrich N., Rossi M. e Sbrana A., 1983. The Phlegraean Fields: magma evolution within a shallow magma chamber. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 17, 289 – 311.
- Ault, W.A., Senechal, R.G. e Erlebach, W.E., 1970. Isotopic composition as a natural tracer of lead in the environment. *Environ. Sci. Technol.* 4, 305-313.
- Belkin H. E., De Vivo B., Lima A. e Török K., 1996. Magmatic silicate/saline/sulfur rich/CO₂ immiscibility and zirconium and R.E.E enrichment from alkaline magma chamber margins evidence from Ponza island, Pontine archipelago, Italy. *Eur. J. Mineral.*, 8, 1401-1420.
- Bodnar R. J., 1995. Fluid inclusion evidence for magmatic source of metals in porphyry copper deposits. *Mineralogical Association of Canada Short courses series*, 23, 139-152.
- Chow T. J. e Johnstone M. S., 1965. Lead isotopes in gasoline and aerosols of Los Angeles basin, California. *Science*, 147, 502-503.
- Cochran J. K., Frignani M., Salamanca M., Bellocci L. G. e Guerzoni S., 1998. Lead-210 as a tracer of atmospheric input of heavy metals in the northern Venice lagoon. *Mar. Chem.*, 62, 15-29.
- Colombo A., Facchetti S., Gaglione P., Geiss F., Leyendecker W., Rodari R., Trincerini P. R., Versino B. e Garibaldi G., 1988. The isotopic lead experiment: impact of petrol lead on human blood and air. Final report. Ispra, Commission of the European Communities, EUR 12002.
- D'Antonio M., Tilton G. R. e Civetta L., 1995. Petrogenesis of Italian alkaline lavas deduced from Pb-Sr-Nd isotope relationships. In: Basu A. e Hart S. R. (eds). *Isotopic studies of Crust-Mantle Evolution. Am. Geophys. Union Monogr. (Dedicated to M Tatsumoto e G. R. Tilton)*, 253-267.
- Daniele L., *Geochimica degli elementi metallici nelle acque sotterranee dell'isola d'Ischia; esempio di prospezione nel settore occidentale. Tesi di Laurea, Università degli Studi di Napoli "Federico II", Anno Accademico 1999/2000.*
- Damiani V., Baudo R., De Rosa S., De Simone R., Ferretti O., Izzo G. e Serena F., 1987. A case study: Bay of Pozzuoli (Gulf of Naples, Italy). *Hydrobiologia*, 149, 201-211.
- De Vivo B., Török K., Ayuso R. A., Lima A. e Lirer L., 1995. Fluid inclusion evidence for magmatic silicate/saline/CO₂ immiscibility and geochemistry of alkaline xenoliths from Ventotene island (Italy). *Geochim. Cosmochim. Acta*, 59, 2941-2953.
- Di Girolamo P., 1978. Geotectonic setting of Miocene-Quaternary volcanism in and around the eastern Thyrrenian sea border (Italy) as deduced from major element geochemistry, *Bull. Volcanol.* 41, 229-250.
- Facchetti S., Geiss F., Gaglione P., Colombo A., Garibaldi G., Spallanzani G. e Gilli G., 1982. Isotopic lead experiment: status report; Luxembourg, Commission of the European Communities, EUR 8352 EN.
- Facchetti S., 1989. Lead in Petrol. *Acc. Chem. Res.*, 22, 370-374.
- Fedele L., Tarzia M., Belkin H. E., De Vivo B., Lima A. e Lowenster J. B., 2006. Magmatic-hydrothermal fluid interaction and mineralization in alkali-syenite nodules from the Breccia Museo pyroclastic deposit, Naples, Italy. In: *Volcanism in the Campania Plain: Vesuvius, Campi Flegrei and Ignimbrites (De Vivo B., Edt). Developments in Volcanology 9, Elsevier.*, p. 125 – 161.
- Garibaldi P., Vanini G. e Gilli G., 1981. Isotopic tracing of lead into children from automobile exhaust. In: *Environmental lead (Lynam D., Piantanida L. e Cole J., Eds). Academic Press*, 9-21.

- Grousset F. E., Quétel C. R., Thomas B., Lambert C. E., Guillard F., Donard O. F. X. e Monaco A., 1995. Anthropogenic vs lithologic origins of trace elements (As, Cd, Pb, Sn Zn) in water column particles: northwestern Mediterranean Sea. *Mar. Chem.* 48, 291-310.
- Hedenquist J. W., 1995. The ascent of magmatic fluid. Discharge versus mineralization. *Mineralogical Association of Canada Short courses series*, 23, 263-289.
- Hopper, J.F., Ross, H.B., Sturges, W.T. e Barrie, L.A., 1991. Regional source discrimination of atmospheric aerosols in Europe using the isotopic composition of lead. *Tellus*, 43, 45-60.
- L'Industria Mineraria, 1979a. Italsider - l'approvvigionamento dei minerali di ferro. Gennaio-febbraio, 1-9.
- L'Industria Mineraria, 1979b. Carbon fossile: la realtà Italsider. Marzo-aprile, 76-88.
- Lima A., Daniele L., De Vivo B. e Sava A., 2001. Minor and trace elements investigation on thermal groundwaters of Ischia Island (Southern Italy). *Proceedings of Water Rock Interaction-10* (Cidu R., Edt), Balkema, Vol. 2, 981 – 984.
- Lima A., Cicchella D. e Di Francia S., 2003. Natural contribution of harmful elements in thermal groundwaters of Ischia island (Southern Italy). *The Science of Total Environment*, 43, 930-940.
- Magi F., Facchetti S. e Garibaldi P., 1975. Essences additionnees de plomb isotopiquement differencie. In: *Proceedings of United Nations FAO and International Atomic Energy Association Symposium*, Vienna, Austria (IAEA-SM), 191, pp. 109-119.
- Maring, H., Settle, D.M., Buat-MeÂnard, P., Dulac, F. e Patterson, C.C., 1987. Stable lead isotope tracers of air mass trajectories in the Mediterranean region. *Nature* 330, 154-156.
- Monna F., Aiuppa A., Barrica D. e Dongarra G., 1999. Pb isotope composition in lichens and aerosols from Eastern Sicily: insights into the regional impact of volcanoes on the environment. *Environ. Sci. Technol.*, 33, 2517-2523.
- Peccherillo A., 1985. Roman comagmatic province (Central Italy): evidence for subduction-related magma genesis. *Geology*, 13, 103-106.
- Russo F., Calderoni G. e Lombardo M., 1998. Evoluzione geomorfologica della depressione Bagnoli-Fuorigrotta: periferia urbana della città di Napoli. *Boll. Soc. Geol. It.*, 116, 21-38.
- Sharp W. E. e Nardi G., 1987. A study of the heavy metal pollution in the bottom sediments at Porto di Bagnoli (Naples) Italy. *J. Geoch. Expl.*, 29, 49-73.
- Tarzia M., 2001. Evoluzione dei fluidi epitermali associati al vulcanismo dei campi flegrei e processi metallogenetici: un contributo alla valutazione della componente naturale dell'inquinamento. Tesi di Dottorato di Ricerca in Geofisica e Vulcanologia, XIII° ciclo. Università degli Studi di Napoli "Federico II". 139 p.
- Tarzia M., Lima A., De Vivo B. e Belkin H. E., 1999. Uranium, Zirconium and Rare Earth Element enrichment in Alkali Syenite nodules from the Breccia Museo Deposit, Naples, Italy. *Geological Society of America Annual Meeting, Abstracts with Programs*, Vol. 31, No 7, p. A-69.
- Tarzia M., De Vivo B., Somma R., Ayuso R.A., McGill R.A.R. e Parrish R.R., 2002 Anthropogenic versus natural pollution: an environmental study of an industrial site under remediation (Naples, Italy). *GEOCHEMISTRY: Exploration– Environment – Analysis*, 2, 45-56.
- Tommasini S, Davies G e Elliott T., 2000. Lead isotope composition of tree rings as biogeochemical tracers of heavy metal pollution: a reconnaissance study from Firenze, Italy. *Appl. Geochem.*, 15, 891-900.
- Washington H. S., 1906. The Roman Comagmatic Region. *Carnegie Inst. of Washington*, 57, 199 pp.