

STORIA DEL SITO

F. Romeo

PREMESSA

Italgas, è una società certificata UNI EN ISO 9001/2000, UNI EN ISO14.001, OHSAS 18.001. Le sue scelte industriali e le modalità con le quali le sviluppa si fondano sul principio che un'unità produttiva prospera tanto più le sue scelte strategiche sono corrette, più motivata è la collaborazione dei dipendenti e più profonda è la sua integrazione con il territorio e con il contesto sociale di riferimento. Le scelte strategiche di Italgas, i suoi indirizzi gestionali, le sue procedure di lavoro e i suoi sistemi di controllo sono condizionati dall'esigenza di conciliare gli interessi degli azionisti con quelli degli utenti, con le legittime aspettative dei fornitori e con l'esigenza di garantire sicurezza degli ambienti di lavoro e crescita professionale dei collaboratori.

Tra queste attenzioni, nei suoi oltre 170 anni di vita, Italgas ne riserva una particolare ai temi della salute e della sicurezza dei lavoratori, dipendenti o collaboratori di imprese appaltatrici, e alla sostenibilità ambientale delle sue scelte produttive.

E' in questo quadro di riferimenti che va letta la scelta di Italgas di provvedere con metodologie sperimentali e innovative alla bonifica di alcune vasche interrato, eredità del periodo nel quale il gas era prodotto dalla distillazione del carbone. Questa complessa operazione, nell'area di "San Paolo" a Roma, ha comportato la rimozione di ingenti quantità di rifiuti catramosi. Per la sua realizzazione si è seguita una procedura condivisa con le autorità alle quali è demandato il controllo sui temi ambientali e della sicurezza nei luoghi di lavoro. Cospicui e inediti problemi sono stati affrontati e risolti nella fase di progettazione come in quella realizzativa. L'esito positivo dell'operazione conferisce al progetto un valore esemplare suggerendone la divulgazione per metterlo a disposizione dei molti casi assimilabili in attesa di soluzione.

Nel ripercorrere le tappe di questo progetto è sembrato utile prendere le mosse dall'anamnesi dei processi industriali che nel tempo si svolsero nel sito su cui si è intervenuti con attenzione ai suoi esiti produttivi, compresi i suoi sottoprodotti e i suoi rifiuti. Questo esame, peraltro, insieme a una lettura storica dell'area e delle vasche bonificate, è stato il necessario esercizio propedeutico allo svolgimento del progetto di intervento.

I PRIMORDI DELL'INDUSTRIA DEL GAS

La parola gas fu usata per la prima volta dall'alchimista fiammingo Giovanni Battista van Helmont, nel 1609, citando lo spirito selvaggio ottenuto nei suoi esperimenti. Fu alla fine del XVII secolo che si applicò il processo della distillazione, già conosciuto dal Medioevo, al carbon fossile ad opera di Thomas Shirley (1664) e John Clayton (1667), i quali notarono che le sostanze così ottenute si potevano accendere. Esperimenti simili furono condotti anche da Robert Boyle e da Stephen Hales.

Gli esperimenti di J. P. Minckelers

Alla metà del XVIII secolo risalgono gli studi dell'olandese Jan Peter Minckelers, il quale, cercando un gas in grado di sollevare le mongolfiere più economico dell'idrogeno, individuò le proprietà illuminanti del gas da lui prodotto con la distillazione del carbon fossile.

L'inizio della produzione con Lebon e Murdoch

Nell'ultimo decennio del XVIII secolo si ebbero i primi esperimenti organici di produzione di gas per l'illuminazione ad opera di Philippe Lebon in Francia e di William Murdoch in Inghilterra, i quali agirono del tutto indipendentemente l'uno dall'altro. All'inizio del XIX secolo ambedue effettuarono le prime applicazioni pratiche. I procedimenti adoperati dai due inventori erano sostanzialmente uguali, diverse le loro finalità. Murdoch cercava di realizzare un sistema di illuminazione economico ed efficace per gli stabilimenti industriali sorti in Inghilterra durante la Rivoluzione Industriale. Lebon, invece, si indirizzò verso un sistema di illuminazione e di riscaldamento domestico. La sua invenzione, che chiamò termolampada, ebbe tuttavia poco successo.

L'industria del gas nasce in Inghilterra

Infine Friedrich Albert Winsor nel 1810 a Londra si fece promotore della prima Società del gas. Negli stessi anni Samuel Clegg (1761-1861) costruì un impianto di produzione, prototipo delle successive officine, e fu l'autore di un trattato organico sulla nuova industria che stava sorgendo. A partire dall'inizio dell'Ottocento e fino dell'avvento del gas naturale, il gas era prodotto industrialmente nelle officine dalla distillazione del carbon fossile. La filiera del gas (estrazione e trasporto del carbone - produzione del gas - distribuzione) e dei suoi derivati era essenziale per lo sviluppo industriale delle città.

SVILUPPO STORICO DEL SITO ITALGAS "SAN PAOLO" DI ROMA

A Roma il gas arrivò più tardi rispetto alle altre principali città italiane. Solo nel 1847, in seguito all'assunzione al trono pontificio di Pio IX, il servizio del gas fu concesso ai francesi Fratelli Trouvé, che tuttavia non riuscirono a renderlo operativo. La concessione passò in varie mani fino al 1852, quando fu assunta da Sir James Shepherd per conto della Imperial City of Rome and Italian Gas Light and Coke Company e poi devoluta alla Società Anglo-Romana per l'illuminazione a Gas della Città di Roma, costituitasi il 10 marzo dello stesso anno. Nel 1853 sorse la prima officina gas detta "dei Cerchi", dal nome della via in cui si trovava, corrispondente all'area dove, in seguito, fu ritrovato il Circo Massimo. Il servizio iniziò il primo gennaio del 1854. In vista di una ipotizzata municipalizzazione della produzione di energia per l'illuminazione, nel 1907 la Società Anglo-Romana offriva al Comune un progetto di modifica del proprio contratto di monopolio, impegnandosi ad una notevole riduzione delle tariffe ma anche a costruire, nel giro di tre anni, una nuova officina a gas ed una elettrica fuori Porta San Paolo. L'impianto veniva collocato subito fuori le mura storiche, in una zona che, da quel momento, acquisiva una forte connotazione industriale. Infatti, contemporaneamente alla edificazione delle centrali della Società Anglo-Romana, si realizzava, nell'area attigua, da parte del Comune, la centrale elettrica Montemartini (1908-1913) e, dall'altra parte della Via Ostiense, i Mercati Generali (1910-1922).

Intanto, sull'altra sponda del Tevere, proprio nell'area prospiciente quella della Società Anglo-Romana, si insediava la Società Colla e Concimi, con forni, magazzini e macchinari.

Nel 1918 quei terreni e quegli edifici venivano acquistati dalla Società Anonima Fabbrica Candele Steariche Mira, per impiantarvi la produzione di candele e saponi: attualmente l'originario Saponificio e l'attiguo locale, adibito alla spremitura delle olive (1918-1921), ospitano il teatro India. Sempre sulla riva destra del Tevere, nell'area adiacente, l'impresa Porcheddu realizzava una costruzione industriale per la Società Molini e Pastifici Biondi (1905-1907). Intanto, a fianco del complesso della Società Anglo-Romana, venivano realizzati i Magazzini Generali (1909), recentemente restaurati per ospitare la sede della Scuola Superiore dei Vigili del Fuoco. In un lotto adiacente veniva realizzata, dall'impresa Porcheddu, la sede della Società Ferramenta Cantini.

L'area sulla quale venivano a insistere i nuovi impianti della Società Anglo-Romana, progettati da Ulderico Bencivenga, era, originariamente, di circa 120.000 m². Circa 20.000 m² erano occupati dall'officina elettrica, i restanti dalla produzione del gas. In questa seconda area spiccavano i gasometri. Il più grande, con una capacità di 60.000 m³ e diametro pari a 48 metri, risale al 1909. Nel 1923, con l'uscita dei capitali inglesi, la Società Anglo-Romana diveniva la Società Elettricità e Gas di Roma e nel 1926 si scindeva in Società Romana di Elettricità e Società Romana Gas.

Negli anni '30 venivano realizzati i due gasometri minori, entrambi di capacità di 25.000 m³ e di diametro pari a 36 metri, già presenti nel progetto presentato nel 1909. Nel sito veniva inoltre realizzato un gasometro molto più piccolo, di circa 2.000 m³, centralmente all'area, demolito negli anni '80. Il quarto gasometro, molto più grande, che segna marcatamente lo sky-line della città con la sua altezza di circa 100 metri e i 3.500 m² di base, risale invece al 1936. Acquistata dall'Italgas nel 1929, nel 1937 la Società Romana Gas veniva incorporata dall'Italgas, assumendo il nome di Esercizio Romana Gas e continuando la produzione, aggiornando e trasformando le strutture produttive.

Negli anni Settanta, con l'arrivo del Gas Naturale, gli impianti per la produzione del gas di città vengono progressivamente abbandonati, quindi, l'area lentamente ma costantemente perde la connotazione industriale diventando, nella parte lato via Ostiense via del Commercio, un'area uffici per il coordinamento operativo della gestione del sistema distribuzione a servizio gas delle città di Roma, Ciampino, Fiumicino, Frascati, Marino, Grottaferrata.

CARATTERISTICHE DELLE OFFICINE PER LA PRODUZIONE DEL GAS

A partire dalla seconda metà del 1800 in tutto il mondo si iniziò ad utilizzare il gas come fonte di energia. L'introduzione dell'illuminazione e del riscaldamento a gas, ebbe conseguenze notevolissime sulla vita sociale e mutò radicalmente molte abitudini quotidiane della gente: cambiavano la vita privata, il lavoro, i divertimenti, si accentuava il distacco città-campagna. All'epoca il gas, erogato nelle reti di distribuzione cittadine, veniva prodotto attraverso processi industriali che utilizzavano come materia prima il carbone. Dovendo fornire le utenze cittadine le Officine Gas venivano ubicate alla periferia delle aree urbane.

Nel tempo, a seguito della espansione dei perimetri urbani, un gran numero di tali aree venne completamente circondata dal tessuto cittadino. Parallelamente i processi produttivi vennero migliorati e, negli ultimi periodi di attività, numerose Officine Gas adottarono impianti che utilizzavano come materia prima idrocarburi liquidi.

La necessità e la convenienza economica di tali lavorazioni venne a mancare intorno agli anni '60 a seguito dell'inizio della estrazione e distribuzione del metano. Quasi tutte le Officine Gas cessarono la loro attività produttiva e vennero dismesse restando spesso in uno stato di semiabbandono.

DESCRIZIONE GENERALE DEI PROCESSI PRODUTTIVI DELLE OFFICINE GAS

Dall'inizio del secolo la produzione del gas è avvenuta tramite due principali processi:

- Distillazione/gasificazione del carbone o coke
- Cracking e reforming (da derivati del petrolio)

Carbone, coke e oli erano quindi le materie prime utilizzate nelle Officine Gas in combinazione con aria e/o vapore per produrre gas.

I due processi differivano tra loro per le materie prime impiegate e per i reagenti utilizzati, mentre le fasi di produzione erano sostanzialmente comuni. Le differenze si riflettevano sulla qualità di gas prodotto e sulle quantità e caratteristiche dei prodotti secondari e dei residui.

Il Carbone

La parola "carbone" deriva dalla parola latina *carbo*, a sua volta originata dal greco *karpho*, che significa *rendere asciutto, arido*. La radice *car* significa *ardere*. Il carbone non fu estratto che a partire dal tardo Medio Evo. Il carbone è composto per più del 50% del suo peso, e più del 70% del suo volume da materiali carboniosi (compresi alcuni composti). Il carbone è formato da resti vegetali che sono stati compressi, induriti, alterati chimicamente e trasformati da calore e pressione in tempi geologici. Si suppone che il carbone si sia formato a partire da piante cresciute in ecosistemi paludosi. Quando queste piante morirono, la loro biomassa si depositò in ambienti acquatici anaerobici, nei quali il basso livello di ossigeno prevenne il loro decadimento, ossidazione, decomposizione e rilascio di diossido di carbonio. La nascita e la morte di generazioni successive di piante formarono spessi depositi di materia organica non ossidata, in seguito ricoperti da sedimenti e compattati in depositi carbonacei come torba, bitume o antracite. Indizi sul tipo di piante che hanno originato un deposito possono essere rintracciati nelle rocce scistose o nell'arenaria che lo ricopre o, con tecniche particolari, nel carbone stesso. L'era geologica durante la quale si formò la maggior parte del carbone fu il Carbonifero (fra i 280 e i 345 milioni di anni fa).

Da ricordare che il carbone può essere convertito in combustibili liquidi come benzina o gasolio, attraverso svariati procedimenti chimico-fisici.

Il Coke

Il coke è un residuo solido carbonioso di liantrace bituminoso con bassi livelli di cenere e di solfuri, dal quale le componenti volatili siano state estratte attraverso la cottura in fornaci alla temperatura di 1000°C e in assenza di ossigeno. Questo procedimento permette di fondere insieme il carbonio fissato e le ceneri. Il coke è utilizzato come carburante e come agente di riduzione nelle fornaci per la fusione dei minerali metalliferi. È grigio, duro e poroso, e ha capacità di riscaldamento di 24.8 milioni di Btu/ton (29.6 MJ/kg). I sottoprodotti della conversione del carbone in coke sono catrame o pece, ammoniacca, oli leggeri e "carbone gassificato", o "gas di carbone".

Il coke ottenuto come residuo dei processi di raffinazione del petrolio può assomigliare a quello proveniente dal carbone, ma contiene troppe impurità per essere utilizzato in applicazioni metallurgiche.

Il Processo di distillazione/gasificazione

L'utilizzo del carbone fossile come materia prima consentiva la produzione di differenti tipi di gas mediante i processi illustrati nella tabella 1.

Tabella 1: **Prodotti derivanti dai diversi processi**

Processi	Prodotti	Utilizzo prodotti
<i>Distillazione fossile</i>	Gas Coke	Vendita Gasificazione
<i>Gasificazione coke</i>	Gas povero Gas d'acqua Gas d'acqua carburato	Riscaldamento forni Riscaldamento forni Vendita
<i>Gasificazione fossile</i>	Gas integrale o doppio	Vendita

La distillazione del carbone fossile

Il primo processo utilizzato per la produzione del gas consisteva nella distillazione del carbone. Il tipo di carbone utilizzato dipendeva dall'area in cui era situata l'Officina del gas; comunque, se disponibile, era preferito l'utilizzo di carbone bituminoso rispetto a carbone con minor potere calorifico, come l'antracite.

In linea generale la produzione del gas per distillazione del carbone presso le Officine del gas avveniva utilizzando i processi riassunti negli schemi delle pagine successive ed esposti di seguito.

La lavorazione aveva inizio con la fase di *distillazione* (1a) del carbone, che veniva realizzata riscaldando il carbone in assenza di aria ed in presenza di vapore fino a raggiungere la temperatura di 800 ÷ 1000°C per liberare il gas di distillazione.

A tale scopo sono stati utilizzati nel tempo diversi tipi di forni:

- Forni a storta; a camere verticali od orizzontali (a marcia discontinua) Klönne; a camere verticali (a marcia continua) tipo Woodall Duckham, Glower West, Koppers; a camere inclinate tipi Ries e Didier.

La gasificazione del coke

Mediante la gasificazione del coke venivano prodotti i seguenti tipi di gas:

- Gas povero
- Gas d'acqua
- Gas d'acqua carburato

La produzione di gas povero era ottenuta insufflando aria (generalmente umidificata) in un apposito gasogeno nel quale veniva introdotto il coke. Il gas povero era impiegato per il riscaldamento dei forni di distillazione del fossile, specialmente nel Centro Sud d'Italia, dove il coke sarebbe risultato altrimenti invenduto. Veniva anche utilizzato in miscela per diluire un gas ricco.

La produzione di gas d'acqua avveniva tramite la produzione di gas povero. Il processo di produzione del gas d'acqua era costituito quindi da due fasi:

- di soffiamento: insufflando aria nel gasogeno si produceva gas povero, che veniva bruciato nella caldaia di recupero;
- di gasificazione: si insufflava vapore che produceva gas d'acqua a spese del calore accumulato nel letto di combustibile.

Anche il gas d'acqua, caratterizzato da un potere calorifico maggiore di quello del gas povero, era impiegato per il riscaldamento dei forni di distillazione. Inoltre veniva miscelato con il gas di distillazione del fossile per produrre il gas integrale.

L'impiego di impianti di gas d'acqua carburato si diffuse in Italia nel periodo 1925-1930. Il processo di produzione di gas d'acqua carburato permetteva di ottenere un gas già caratterizzato dal potere calorifico superiore occorrente per la distribuzione.

Il processo consisteva nell'introdurre nell'impianto, tra gasogeno e camera di combustione, una colonna con impilaggio di materiale refrattario, nella quale veniva spruzzato un idrocarburo, in genere gasolio, durante la produzione con immissione di vapore dal basso.

Alcune reazioni, molto sensibili alla temperatura, davano luogo a depositi carboniosi nell'impilaggio, che venivano bruciati e quindi utilizzati nella fase di soffiamento, mediante aggiunta di aria secondaria sia nel carburatore che nella camera di combustione. Il calore generato serviva sia per mantenere a temperatura sufficientemente elevata il carburatore (700°-800°C), sia per la produzione di vapore nella caldaia di recupero.

La gasificazione del carbone fossile

Il processo di gas integrale (o gas doppio) fu inventato da Strache nel primo decennio del secolo XX e fu poi perfezionato tramite l'utilizzo di impianti VIAG.

Il processo consisteva nella predistillazione del carbon fossile, effettuata a bassa temperatura in una storta verticale (gasogeno tipo Strache), seguita dalla gasificazione del semicoke residuo in un sottostante gasogeno per gas d'acqua a funzionamento ciclico.

La maggior parte del calore necessario per la distillazione del carbon fossile era fornita dal gas d'acqua generato nel gasogeno.

La miscela di gas d'acqua da coke con il gas di distillazione del fossile uscente dalla storta costituiva il gas integrale.

I processi di Cracking e Reforming

La produzione di gas tramite distillazione del carbone è cessata alla fine degli anni '60, quando si è passati a produrre gas mediante reforming catalitico di derivati leggeri del petrolio.

Il combustibile liquido o gassoso contenente idrocarburi, veniva trasformato in una sostanza combustibile gassosa, caratterizzata da un valore del rapporto C/H inferiore a quello della materia prima. Tale trasformazione avveniva mediante:

- processi di cracking (o pirolitici): separazione del C in eccesso sotto forma di sostanze, liquide o solide, contenenti tale elemento in concentrazioni elevate;
- processi di reforming: gasificazione del C in eccesso con impiego di *mezzi gasificanti*; il processo è detto *ossigenolitico* se il mezzo gasificante contiene ossigeno, di *idrogasificazione* se contiene idrogeno.

Negli impianti di fabbricazione del gas da idrocarburi le reazioni si svolgevano in reattori, nei

quali veniva introdotta la materia prima insieme agli eventuali mezzi gasificanti. La materia prima, se liquida, doveva essere preventivamente vaporizzata o nebulizzata.

I reattori potevano essere vuoti all'interno oppure equipaggiati con masse di contatto, costituite talora da sostanze inerti o più frequentemente da *catalizzatori* che modificavano la cinetica delle reazioni in modo che queste richiedevano una energia di attivazione inferiore.

I catalizzatori più comunemente impiegati nei processi di reforming degli idrocarburi erano generalmente costituiti da un materiale di supporto a base di ossidi (come allumina, silice, calce) nel quale era disperso un componente metallico, nichel (il più comune) o cobalto. Tali catalizzatori erano detti bifunzionali, a causa della doppia componente presente.

Il funzionamento continuo implicava l'utilizzo di reattori tubolari attraverso le cui pareti il calore era ceduto ai reagenti, che li percorrevano con flusso continuo.

La depurazione del gas

Il gas prodotto dal processo di distillazione del carbon fossile necessitava di una fase di *depurazione*. Le operazioni essenziali occorrenti erano le seguenti:

- Condensazione
- Estrazione
- Decatramazione finale
- Lavaggio dall'ammoniaca
- Lavaggio da naftalene e da oli leggeri
- Depurazione chimica

La *condensazione* (1b) consisteva nel raffreddamento del gas grezzo prodotto; questa fase di lavorazione consentiva la condensazione del vapore e l'abbattimento primario di ammoniaca, **catrame** e naftalene. L'acqua arricchita di ammoniaca veniva sia riutilizzata nel raffreddamento, che impiegata per la produzione di solfato d'ammonio.

Tale fase avveniva principalmente nel bariletto, tubo collocato sui forni che riceveva il gas direttamente dalla camera o dalla storta sottostante.

Il gas si raffreddava ulteriormente nella tubazione di fabbricazione, munita di scarichi e sifoni per lo smaltimento delle condense.

Dalla tubazione di fabbricazione il gas passava nei condensatori, che potevano essere ad aria o ad acqua, verticali od orizzontali. La temperatura di uscita del gas dai condensatori dipendeva soprattutto dalle superfici di raffreddamento e dalla temperatura dell'acqua: era generalmente compresa tra 20° e 25°C.

L'*estrazione* permetteva di mantenere la pressione del gas circa uguale alla pressione atmosferica nei forni, al fine di aumentare la resa. I primi estrattori erano a pistone, poi furono sostituiti da quelli rotanti; venivano lubrificati con olio di antracene o acqua ammoniacale.

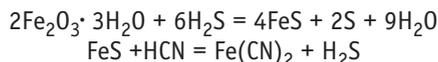
La *decatramazione* (2a) permetteva la separazione del gas dal **catrame** presente allo stato vescicolare. Essa veniva eseguita sia mediante metodi meccanici (separatori ad urto) che elettrostatici (separatori elettrostatici).

I condensati provenienti dai refrigeranti, dai condensatori, dai decatramatori e dai bariletti si separavano in **catrame** ed acqua ammoniacale nelle celle di decantazione annesse alle vasche di raccolta suddivise in comparti per acqua ammoniacale e per **catrame**.

Seguiva il *lavaggio dall'ammoniaca* (2b) e *dal naftalene* (2c). La prima veniva abbattuta attraverso un gorgogliamento in acqua, mentre il secondo veniva rimosso a seguito di un lavaggio a pioggia in olio di antracene.

La *depurazione chimica* del gas da H₂S e da impurezze varie (cianuri, solfocianuri, ossidi di azoto, etc.) avveniva prevalentemente mediante un *processo di desolfurazione a secco* (2d). In

tale processo il gas attraversava una serie di masse depuranti costituite da ossidi di ferro idrati e pirite in polvere (miscela laming), cui era aggiunta segatura di legno ed eventualmente, calce idrata. La depurazione avveniva secondo le seguenti reazioni:



Tale processo dava origine ad un accumulo di solfuri e cianuri nelle masse depuranti e, parallelamente, alla diminuzione degli ossidi di ferro.

L'ultima fase era quella denominata *debenzolaggio* (2e) del gas. Il gas poteva essere separato dagli areni grezzi tramite differenti processi: con un lavaggio a pioggia in oli a temperatura di ebollizione di circa 250°C, tramite estrazione con carboni attivi, per compressione e raffreddamento.

Nel processo di distillazione la resa in gas (valore che indica qual è la quota parte di materia prima che effettivamente si trasforma in gas) dipendeva dalla qualità del carbone e dal suo stato di conservazione, nonché dalla temperatura di distillazione e dal tipo di distillazione, secca o umida.

Il gas derivante da reforming e cracking necessitava di fasi di depurazione più semplificate rispetto al gas prodotto da carbone: normalmente veniva sottoposto a condensazione e a lavaggio ad umido. Alcuni impianti richiedevano anche la fase di depurazione chimica (processo di desolforazione a secco).

Schemi delle fasi del processo produttivo di distillazione da carbone

Fase 1) PRODUZIONE GAS E RECUPERO DI CALORE

1a) *Distillazione*

gas grezzo caldo → Raffreddamento
coke, *ceneri, *clinker

1b) *Condensazione*

gas grezzo freddo → Depurazione gas
condensato acqua/idrocarburi → separatori **catrame**/olio/acqua e trattamento acque

Fase 2) DEPURAZIONE GAS

2a) *Decatramazione*

catrame

2b) *Lavaggio per gorgogliamento in acqua*

solfo di ammonio
condensato ammoniacale → *trattamento acque*
*melme da saturatori ammoniacali

2c) *Lavaggio a pioggia in olio di antracene*

naftalene
naftalene → *trattamento catrame ed idrocarburi*
*precipitati da scrubber (nickel/arsenico/ferro)

2d) *Desolforazione a secco*

*limi spenti (*masse laming*)
*ossidi spenti (*masse laming*)

2e) *Debenzolaggio*

gas
oli leggeri
oli leggeri → *trattamento catrame ed idrocarburi*

- Fase 3) TRATTAMENTO RESIDUI DI PROCESSO
- 3a) *Separatori **catrame**/olio/acqua
catrami/olii → trattamento **catrame** ed idrocarburi
acque → trattamento acque
*emulsioni **catrame**/acqua/olio
melme catramose di decantazione
- 3b) *Treatmento acque
solfato di ammonio
*melme di trattamento limoso ferrose
*fenoli
acque trattate
- 3c) *Treatmento **catrame** ed idrocarburi
oli leggeri
oli medi
oli pesanti
olio di antracene
catrami/olii
*peci
melme acido/caustiche
-

Schemi delle fasi del processo produttivo di reforming

- Fase 1) PRODUZIONE GAS
- 1a) *Reforming catalitico
nerfumo, catalizzatori esausti
- Fase 2) DEPURAZIONE GAS
- 2a) *Lavaggio a umido*
- 2c) *Depurazione a secco
*limi spenti (masse laming)
ossidi spenti (masse laming)
-

Le sostanze utilizzate e i residui di processo

Le materie prime

Le materie di partenza utilizzate per la produzione del gas presso le Officine del Gas erano carbone, coke e alcuni derivati del petrolio. Questi ultimi erano usati sia come materie prime (derivati leggeri del petrolio) che come oli di carburazione, aggiunti per aumentare il potere calorifico del gas prodotto.

Gli oli di carburazione variavano da oli commerciali a nafta, oli pesanti e residui pesanti. Le caratteristiche del coke dipendevano quasi esclusivamente dal tipo di carbone dal quale veniva prodotto.

I residui di processo

In funzione delle tipologie di processo di lavorazione adottate ciascuna Officina del gas produceva differenti tipologie di residui. La tabella 2 riassume le tipologie dei residui di processo derivanti dai principali processi di produzione del gas.

Tabella 2: **Tipologie dei residui di processo**

Tipologia dei residui di processo	Distillazione/Gasificazione	Reforming
<i>Catrame (da carbone)</i>	X	-
<i>Catrame (da derivati petrolio)</i>	X	-
<i>Nerofumo</i>	-	X
<i>Emulsione catrame/olio/acqua</i>	X	-
<i>Melme idrocarburiche</i>	X	-
<i>Melme da trattamento acque</i>	X	X
<i>Coke</i>	X	-
<i>Ceneri</i>	X	X
<i>Ossidi e limi spenti</i>	X	X
<i>Solfuri</i>	X	X
<i>Solfato d'ammonio</i>	X	-

La gestione di tali sottoprodotti veniva regolata in modo diverso in ciascuna Officina. Ciò era dovuto al fatto che una buona parte dei residui di processo era potenzialmente riutilizzabile sia come materia prima per altre fasi del processo produttivo sia come prodotto destinato alla vendita. La gestione naturalmente dipendeva da fattori di convenienza economica ed era quindi condizionata caso per caso dai quantitativi prodotti e dalla richiesta di mercato.

I residui solidi

Il coke è il principale residuo solido derivante dal processo di distillazione del carbone. Residui secondari derivanti dal processo sono ceneri e klinker.

Residui idrocarburici

Gli idrocarburi derivati dal carbone potevano costituire più del 40% del peso del carbone iniziale, in relazione alla sua origine e alla frazione di materia volatile in esso presente.

Catrami

Idrocarburi sotto forma di catrami erano prodotti durante il processo di produzione del gas a partire da carbone.

I **catrami** si formavano primariamente in seguito alla iniziale distillazione del carbone grezzo durante il processo di riscaldamento del carbone; tali **catrami** erano descritti come “**catrami** di alta temperatura” a causa della elevata temperatura a cui erano generati (900-1200 °C). Erano costituiti da oli leggeri, oli medi, oli pesanti e oli di antracene.

I residui catramosi separati dal gas nelle fasi di raffreddamento e decatramazione erano convogliati in vasche di separazione e decantazione, dove avveniva la separazione tra **catrame** ed acque ammoniacali. Il **catrame** veniva stoccato in vasche e sottoposto a disidratazione.

Nei **catrami** erano presenti a bassi livelli o in tracce componenti chimiche organiche quali aromatici volatili, fenoli, idrocarburi policiclici aromatici.

Nerofumo

La produzione di nerofumo avveniva esclusivamente dal processo di reforming. Il nerofumo è l'idrocarburo con il più alto contenuto di carbonio: contiene carbonio libero, **catrami**, acqua.

Oli leggeri e naftaline

I principali residui idrocarburici derivanti dal processo di depurazione del gas sono oli leggeri, e naftalene.

Oli leggeri e naftalene venivano prodotti durante tutti i processi di produzione del gas e venivano eliminati dal gas tramite un lavaggio a pioggia in olio di antracene e poi recuperati grazie ad un processo di distillazione e cristallizzazione, rispettivamente. Il naftalene recuperato includeva normalmente sia il naftalene stesso che i suoi derivati metil e dimetilnaftalene. Gli oli leggeri e il naftalene potevano essere venduti o alternativamente riciclati all'interno dell'impianto.

Olio benzolato

L'olio di antracene impiegato nella rimozione del naftalene si arricchiva in areni grezzi, dando origine all'olio benzolato. Questo olio veniva inviato all'impianto di debenzolaggio dell'olio dove veniva distillato e poi riciccolato.

Melme da saturatori ammoniacali

Le melme da saturatori ammoniacali derivavano dalla polimerizzazione di idrocarburi in un lavaggio acido utilizzato per recuperare ammoniaca dal processo di distillazione del carbone. Questo materiale si presentava viscoso, simile alla pece ed era privo di valore.

I residui acquosi

Il flusso di acqua che condensava dal gas appena prodotto conteneva tutti gli idrocarburi con cui veniva a contatto. I livelli di idrocarburi erano ovviamente limitati dalla loro solubilità in acqua. Inoltre nelle acque residue sono presenti solidi sospesi, sia organici che inorganici. I solidi organici presenti riflettono l'utilizzo del carbone come materia prima: contengono infatti fenoli, naftalene, benzene, toluene e alcuni idrocarburi policiclici aromatici.

I residui acquosi non contengono particolari tracce di metalli, sebbene i livelli di arsenico talvolta riscontrati siano più alti dei valori relativi ad altri metalli.

Acque ammoniacali

I residui acquosi prodotti durante la fase di depurazione del gas consistevano in acque ammoniacali.

Le acque ammoniacali, generate solo negli impianti di distillazione del carbone, risultano dal lavaggio con acqua del gas prodotto ed erano utilizzate per la produzione del solfato d'ammonio. Questo processo avveniva riscaldando le acque ammoniacali e unendovi acqua di calce, in modo da liberare ammoniaca gassosa e immettendo poi quest'ultima in un saturatore contenente acido solforico.

I residui solidi inorganici

Ossidi spenti e limi spenti (masse depuranti o masse laming).

I più frequenti residui solidi inorganici erano costituiti da limi spenti e ossidi spenti (masse depuranti o masse laming). Tali residui derivavano dall'utilizzo di limo e di ossido di ferro come reagenti solidi per la rimozione dei solfuri (generalmente sotto forma di H_2S) dal gas prodotto (desolfurazione a secco). Questi materiali erano utilizzati anche per rimuovere cianuri dal gas, i quali si formavano solo negli impianti che distillavano il carbone.

Durante il processo di depurazione a secco le masse depuranti si arricchivano di solfuri e cianuri e si impoverivano di ossidi di ferro idrati. Le masse venivano rimosse periodicamente dalle casse in cui venivano depositate, irrorate con acqua e poste all'aperto per qualche giorno per rigenerarsi. Erano rigenerabili fino a quando raggiungevano un contenuto percentuale in peso di zolfo pari a 45-50%.

Negli ossidi spenti si rileva usualmente la presenza di metalli quali arsenico, zinco, cromo, rame, nichel, piombo e cadmio.

Fanghi da trattamento acque

Il trattamento delle acque residue presso le Officine del gas non comportava generalmente fasi molto complesse. Il trattamento più complesso era riservato ai condensati derivanti dalla distillazione del carbone, che risultavano contaminati da un'ampia varietà di organici e inorganici presenti nel gas grezzo. Questi condensati consistevano in una fase acquosa dei separatori **catrame**/olio/acqua e in acque ammoniacali derivanti dalla depurazione del gas.

Generalmente alle acque venivano aggiunti solidi inorganici, come limo o solfato di ferro, per formare precipitati insolubili organici e inorganici che venivano poi rimossi dalle acque. A fine trattamento le acque erano normalmente scaricate nel più vicino corpo idrico o nel sistema fognario municipale.

RICOSTRUZIONE STORICA DELLE ATTIVITÀ SVOLTE NEL SITO “SAN PAOLO” DELL’EX OFFICINA GAS

Inquadramento dell’Area Italgas sito di San Paolo - Roma

Ubicazione dell’area

L’ex Officina del Gas di San Paolo occupa una superficie 124.000 m², l’area si trova all’interno del perimetro urbano di Roma in zona Ostiense, in riva sinistra del Tevere, immediatamente a sud dell’ex Porto fluviale. I suoi confini sono costituiti da

- riva del Tevere (SW);
- magazzini Generali (NW);
- via del Commercio (N);
- via Ostiense (E);
- Officina Termoelettrica della Società Elettricità e Gas di Roma (SE).

Inizio dell’ attività produttiva dell’Officina Gas

La costruzione dell’Officina Gas di San Paolo venne avviata nel luglio del 1910 e l’inizio della produzione di gas è databile al 1911.

All’epoca della sua costruzione l’Officina Gas comprendeva i seguenti impianti:

- lungo il Tevere, da Nord a Sud:
 - terreno libero;
 - magazzini del carbone;
 - forni di distillazione;
 - piazzali di deposito del coke;
- nella parte centrale, da Nord a Sud:
 - gasometri;
 - depurazione a secco del gas; misura e distribuzione del gas; laboratorio;
 - vasche di acque ammoniacali e **catrame**; depurazione a umido del gas (sala macchine); impianto per il gas d’acqua (generatori, depuratori e gasometro);
 - lavorazione dei sottoprodotti (ammoniaca, cianuri; in seguito si aggiunse la lavorazione del solfato e del benzolo), caldaie, officine, magazzini;
- nella parte orientale:
 - terreno libero, magazzini, uffici e abitazioni.

Nel corso degli anni gli impianti dell’Officina furono sottoposti a numerosi interventi di ristrutturazione atti a migliorarne la capacità produttiva adottando tutte le nuove opportunità tecnologiche che il mercato offriva.

Storia delle attività produttive

Produzione del gas da carbone

La descrizione sotto riportata non vuol essere esaustiva ma solo evidenziare la complessità del processo di produzione del gas di città, derivante dal pirolitico del carbone, nelle sue macro attività industriali.

La materia prima originariamente utilizzata per la produzione del gas era il carbone, che veni-

va sottoposto a distillazione in carenza di aria. I forni di distillazione del carbone nel sito, si sono succeduti secondo la seguente tempistica:

- 1910: primo impianto di forni a camere inclinate (*Ries* o *Didier*), comprendente 2 batterie di 10 forni a 3 camere (potenzialità: 5000 m³/giorno di gas da ciascun forno e 100.000 m³/gg da tutto l'impianto). In progetto: 4 batterie da 6 forni (sempre *Ries*) ciascuna, da 6000 m³/gg ogni forno (150.000 m³/gg). Almeno due di queste batterie furono costruite realmente.
- 1926: ricostruzione della parte muraria della I batteria *Ries*; poco dopo, costruzione di una batteria di forni a camere verticali *Kloenne* (8 forni con 52 camere verticali intermittenenti da 130.000 m³/gg).
- 1932: al posto della II batteria di forni *Ries* viene costruita una nuova batteria a camere verticali continue *Koppers* (1 batteria di 4 forni a 4 camere verticali continue a rigenerazione da 90.000 m³/gg). Resta ancora uno spazio disponibile per la costruzione di un'altra batteria identica, che viene costruita negli anni seguenti.
- 1934-38: i forni *Ries* (1 batteria di 10 forni a 3 camere inclinate) e (2 batterie di 6 forni a camere inclinate del 1913) vengono sostituiti da forni *Woodall* (una batteria doppia da 90.000 m³/gg e una doppia da 140.000 m³/gg).
- 1947-50: a seguito dei bombardamenti del 1944, che distrussero i forni *Kloenne*, le batterie *Woodall* da 45.000 m³/gg e parte di una batteria *Koppers*, vengono ripristinate le batterie *Koppers* e *Woodall*, mentre i forni *Kloenne* vengono demoliti. Alla fine degli anni '50 viene costruito l'impianto *ONIA GEGI* (l'impianto eseguiva il *cracking catalitico di idrocarburi liquidi*). La cessazione della produzione di gas da carbone avviene alla fine degli anni '60).

Gassogeni

A differenza delle città dell'Italia del nord, dove i forni venivano scaldati con gas di distillazione o carbon fossile per risparmiare il coke da vendere in città, a Roma c'erano difficoltà a vendere il coke, per scarsa conoscenza del prodotto e per ridotto fabbisogno, per cui per il riscaldamento dei forni di distillazione si usava preferenzialmente coke.

Mentre i forni *Ries* erano provvisti di gassogeni funzionanti a carbone direttamente sottostanti le camere di distillazione (batterie alternate), per le altre batterie (a cominciare dal 1923) furono installati apparecchi per la gassificazione integrale del carbon fossile e quindi direttamente del coke.

Furono così dapprima costruiti 3 *gassogeni Strache* per la produzione di "gas doppio" o "gas integrale", che entrarono in servizio nel 1926, poi altri 6 gassogeni dello stesso tipo, a servizio dei forni *Kloenne*.

I gassogeni *Strache* erano dotati di un impianto di depurazione e stoccaggio del gas (*gasometro "VIAG"*) situato nello stesso settore; purtroppo questi gassogeni davano spesso problemi di manutenzione, tanto che non si riusciva a farne funzionare più di 5 per volta, per cui all'epoca della costruzione dei forni *Koppers* (prima metà degli anni '30) furono costruiti anche 8 gassogeni "centrali". Questo impianto funzionava a polverino di coke.

I forni *Woodall* (metà anni '30) erano provvisti di gassogeni laterali adiacenti alle batterie.

Nel 1934 esistevano, oltre ai gassogeni sopraccitati, anche:

- gassogeni *Dellwik-Fleischer* per *gas d'acqua* (15.000 m³/gg);

- 1 gassogeno *Cutler* per *gas d'acqua carburato* (15.000 m³/gg).

L'impianto *Cutler* fu abbandonato e demolito prima degli anni '50.

Produzione di gas nel dopoguerra

Per aumentare il potere calorifico del gas di batteria, per un certo periodo prima della II^a guerra mondiale fu in esercizio un impianto di produzione di *idrogeno*. Dopo la guerra la potenzialità dell'officina diventò tuttavia insufficiente e fu necessario installare impianti alternativi. I primi impianti di questo tipo furono sperimentali, i successivi soppiantarono i forni di distillazione e gran parte di essi ebbe alimentazione variabile a seconda del periodo.

Il primo impianto di una certa importanza fu il *VIAG* che comprendeva 4 unità di distillazione e gassificazione alimentate a *carbone (gas integrale)*. La distillazione avveniva a 780-810 °C, permettendo quindi di ottenere un gas più grasso.

Il *VIAG* fu costruito alla fine degli anni '40 e rimase in esercizio fino al 1966. La depurazione del gas avveniva accanto all'impianto in bariletti di forma conica; il **catrame** che decantava sul fondo veniva trasferito nelle sottostanti vasche e da qui nel serbatoio ubicato verso Tevere. Il residuo solido dell'impianto *VIAG* era costituito da scorie di coke.

Il gas prodotto, in modo discontinuo, dall'impianto *VIAG* veniva stoccato nel *gasometro* adiacente da 2000 m³ (già usato, in precedenza, dai gassogeni *Strache*) e da qui convogliato direttamente alla depurazione a secco, dopo miscelazione con il gas prodotto nei forni in uscita dalla sala macchine.

Accanto al *VIAG* fu costruito (al posto dei gassogeni *Strache*) nel 1952-1953 l'impianto *Semet Solvay*. L'impianto comprendeva due linee; una terza linea fu aggiunta alla fine degli anni '50. Anche in questo caso esistevano bariletti e vasche di decantazione e accumulo del **catrame**, ma queste erano fuori terra, a Nord dell'impianto. Il *Solvay* fu fatto funzionare ad alimentazione solida e quindi liquida (craking termico) e cessò l'esercizio alla fine degli anni '60.

L'impianto *ONIA GEGI* fu costruito alla fine degli anni '50 accanto alle batterie di forni *Woodall*, sullo spazio lasciato vuoto dopo la demolizione dei forni *Kloenne*. L'impianto eseguiva il craking catalitico di idrocarburi liquidi, inizialmente olio combustibile, quindi benzina.

Poco dopo l'*ONIA*, vicino al gasometro del *VIAG*, fu costruito l'impianto *UGI*, che aveva un'alimentazione simile e che funzionò fino al 1986 (negli ultimi tempi l'alimentazione era metano).

La logistica industriale dell'officina gas

Aree di stoccaggio del carbone

Il carbone fossile era stoccato in aree della capacità di 32.000 t, servite da gru a ponte scorrevole. Inizialmente tre di questi magazzini erano coperti e uno scoperto; in seguito però le coperture furono tolte, cosicché dopo la guerra lo stoccaggio avveniva all'aperto con bagnatura periodica per evitare incendi.

Intorno agli anni '30 fu costruito un grande magazzino a forma di *vasca* diviso in compartimenti per conservare una *riserva di carbone sott'acqua*, al riparo dagli agenti atmosferici. Questa vasca, in cemento armato, era servita da apposita gru girevole su cavalletto scorrevole e da trasportatori a nastro. La sua capacità era di 30.000 t (sommerse) più altre 20.000 t emerse. La capacità totale dei magazzini era pertanto di 75.000 - 80.000 t.

Mentre da un lato la capacità di immagazzinamento veniva ampliata verso nord, a sud i magazzini venivano man mano trasformati per altri usi (impianti, serbatoi ecc.). Al termine del periodo di produzione del gas da carbone i magazzini vennero convertiti in aree di deposito e quindi in parcheggi per autoveicoli, oppure abbandonati.

Aree di stoccaggio coke

Dai forni il *coke* veniva scaricato nel *carro estintore*, e da qui nel *convogliatore del sistema De Brouwer*, che lo trasportava nell'apposito piazzale di deposito.

Area depurazione a umido del gas e lavorazione dei sottoprodotti

Originariamente il gas proveniente dai bariletti disposti lungo le batterie di forni passava attraverso 3 linee di depurazione a umido, ciascuna delle quali comprendeva:

- *condensatori* verticali tubolari;
- estrattore rotativo Beale (*riduttore di pressione*), provvisto di:
 - regolatore di *bypass* (per evitare le cadute di pressione);
 - cassa (o valvola di sicurezza per evitare sovrappressioni);
 - condensatore *a urto* Pelouse e Audouin (separazione fine del **catrame**);
 - *lavatore di naftalina* (e probabilmente anche di benzolo) (tamburo con ruote di legno a lamelle rotanti e semiimmerse in *olio d'antracene*);
 - *lavatore dei cianuri* (c.s. con soluzioni di *solfato di ferro*);
 - *condensatore* verticale tubolare;
 - *lavatore dell'ammoniaca* (acqua).

Il gas in uscita era convogliato, mediante tubazioni sotterranee, alle casse della *depurazione a secco*. I sottoprodotti separati nella sala macchine venivano invece trasferiti o lavorati come segue.

Il **catrame** confluiva inizialmente da bariletti, tubi collettori, condensatori ecc. nella *vasca di separazione*. Da qui l'*acqua ammoniacale* trascinava nella vasca di raccolta, mentre il **catrame** defluiva in un'altra vasca. Il **catrame** veniva in parte venduto dopo decantazione e disidratazione (solo dopo la guerra, nel periodo di passaggio da carbone a idrocarburi liquidi, il **catrame** fu utilizzato per la produzione di gas, ma con risultati non molto soddisfacenti: il suo *cracking* comportava infatti la produzione di grosse quantità di polverino e nerofumo), ma rimanevano sempre nello stabilimento quantitativi di **catrame** difficili da eliminare, tant'è che per aumentare le capacità di stoccaggio le vasche interrato iniziali furono affiancate o sostituite, negli anni '20, da quattro serbatoi di dimensioni maggiori.

I *cianuri* erano trasferiti al locale di lavorazione dei cianuri per il recupero dei *cianuri di sodio* mediante filtrazione, evaporazione e concentrazione della soluzione di lavaggio contenente solfato di ferro e carbonato di sodio.

Le *acque ammoniacali* arrivavano al locale di lavorazione dell'ammoniaca, dove confluivano forse anche le acque risultanti dalla vasca di decantazione interrata; l'ammoniaca veniva recuperata come *solfato d'ammonio* mediante distillazione e salificazione con acido solforico oppure come *soluzione ammoniacale concentrata*; entrambi i prodotti venivano venduti.

In alternativa alla rigenerazione o alla vendita, le masse depuranti sature di solfuro venivano sottoposte, a partire dalla fine degli anni '30, al processo di produzione di *acido solforico* nelle camere a piombo (impianto solfato) Questo impianto fu abbandonato negli anni '60.

La forza motrice per spingere il gas attraverso gli impianti di depurazione veniva fornita dalle caldaie della *centrale termica*. Le caldaie erano alimentate a carbone; in un secondo tempo l'alimentazione fu a olio combustibile e per la fabbricazione del vapore veniva usata acqua demineralizzata.

Gli impianti di depurazione erano ubicati, fino al 1940, in un edificio per poi essere sostituiti da "sistema" *torri di lavaggio* verticali (n.7 torri). Le torri di lavaggio, accoppiate ai condensatori e scambiatori di calore, sostituiscono i lavatori orizzontali. Le torri venivano usate per:

- separazione delle acque ammoniacali, forse contenenti naftalina (4 torri);
- separazione del benzolo (3 torri).

Il benzolo era recuperato, sia dai lavatori orizzontali, sia dalle torri di lavaggio. Il trattamento veniva inizialmente eseguito nell'edificio lungo il confine con l'Officina Termoelettrica; dopo lo smantellamento dell'impianto Cutler (1937-41) fu trasferito nei due edifici che erano serviti per la produzione e depurazione del gas d'acqua, vicino alle torri di lavaggio.

Il solvente di lavaggio (*olio di antracene*) in quest'ultimo periodo era contenuto nei serbatoi (interrati) più occidentali nel passaggio fra i due edifici. L'olio di antracene contenente benzolo veniva distillato nel locale a sud, ed il benzolo recuperato veniva stoccato nei serbatoi più orientali. L'olio di antracene veniva fornito da una ditta di Piacenza, che ritirava anche il benzolo. Accanto all'impianto di distillazione del benzolo esisteva anche un non meglio definito "miscelatore di pece".

L'uso delle torri di lavaggio e dell'impianto di distillazione e rettifica del benzolo fu abbandonato alla fine degli anni '60, quando cessò definitivamente la produzione di gas da carbone, insieme con i forni, la depurazione a umido e a secco, l'impianto VIAG e l'impianto Solvay. Rimasero gli impianti UGI e ONIA, che furono tenuti in esercizio fino agli anni '80 (essendo alimentati, in quest'ultimo periodo, da idrocarburi o miscele di idrocarburi man mano più leggeri, fino ad arrivare al gas metano).

Depurazione a secco del gas

Il gas depurato a umido dai componenti condensabili o separabili mediante lavaggio arrivava nell'*impianto di depurazione a secco* per l'eliminazione dei *composti solforati* (solfuro di idrogeno, mercaptani) e del *biossido di carbonio* (quest'ultimo trattamento permetteva di aumentare il potere calorifico del gas).

All'inizio l'impianto consisteva di 2 linee di depuratori Monobloc di ghisa. Le linee erano collocate in un edificio che doveva essere affiancato da altri 2 edifici usati per la *rigenerazione* e l'*immagazzinamento* delle masse depuranti.

In seguito (1933-34; 1947-48) la capacità delle masse depuranti venne aumentata, ricostruendo e rialzando l'impianto. In particolare la seconda ristrutturazione comportò lo sfruttamento dell'intera zona (prima occupata solo in parte dai cassoni) ed anche di una parte dell'adiacente aia, con analogo ribassamento del fondo.

Gasometri

L'officina del gas era dotata di 2 gasometri di produzione da 2000 m³ (*a sussidio degli impianti del gas integrale Strache ("gasometro VIAG") e del gas d'acqua Cutler. Quest'ultimo aveva 2 alzate di 15 x 6 m con guide a spirale e vasca anulare di acciaio di 11,5 x 5 m, in grado di contenere 600 m³ di olio minerale per la carburazione del gas*) e di 4 gasometri di stoccaggio, di cui 3 furono costruiti all'inizio dell'esercizio, nel 1910 e anni immediatamente seguenti, ed uno nel 1936. I quattro gasometri hanno le seguenti caratteristiche :

- 1 gasometro da 60.000 m³: vasca diametro 48,8 m, altezza 9,4 m; campane diametro medio 47 m, altezza 9,1 m;
- 2 gasometri da 25.000 m³: vasca diametro 36,6 m, altezza 9,4 m; campane diametro medio 35 m, altezza 9,1 m;
- 1 gasometro da 200.000 m³: vasca diametro 65 m, altezza 100 m circa.

I quattro gasometri di stoccaggio, pur se costruiti in periodi diversi, hanno caratteristiche

costruttive molto simili. L'imponente volume cilindrico, a metà tra l'opera di ingegneria civile e la macchina, rievoca l'immagine di più celebri costruzioni metalliche di fine Ottocento, dalla Tour Eiffel al ponte sul Forth.

La trasparente struttura reticolare esterna, in acciaio, la sola visibile oggi che i gasometri sono in disuso, si sviluppa su più livelli, tanti quante sono le corone mobili, concepiti ognuno come enormi travi reticolari anulari. L'insieme configura una struttura spaziale di grande resistenza flessionale e torsionale per conseguenza naturale della forma assimilabile al cilindro e l'assemblaggio reticolare garantisce la superficie minima di impatto al vento.

Il gasometro, struttura ibrida tra l'edificio e la macchina, è l'elemento più originale dei luoghi della produzione del gas. Oltre a testimoniare una precisa fase storica nel progresso produttivo dell'energia, esso rappresenta un'icona dello sviluppo dell'ingegneria civile ed in particolare della carpenteria metallica reticolare.

È infine un elemento di forte riconoscibilità urbana. In particolare nel sito Italgas di San Paolo, è la composizione dei quattro gasometri di dimensioni diverse e di epoche successive a costituire un fattore di eccezionale pregio e singolarità.

L'Italgas oggi a Roma

Dal 2002 assume la denominazione di Italgas Area Metropolitana di Roma.

La rete di distribuzione gas gestita da Area Metropolitana di Roma è al servizio dei comuni di Roma, Frascati, Marino, Grottaferrata, Ciampino, Fiumicino e Rocca di Papa, alimenta n° 1.400.000 di punti gas attraverso 5.300 km di rete e 12.725 km di installazioni.

I m³ /anno vettoriati nel 2005 sono stati m³ 1.347.465.000.

L'IMPATTO AMBIENTALE DEL CANTIERE E LE OPERE PER IL SUO CONTENIMENTO E CONTROLLO

G. Moras

PREMESSA

Come già descritto, l'area di intervento, un tempo abbastanza periferica e compresa tra la via Ostiense e il fiume Tevere è ormai completamente inserita nel tessuto urbano, ciò ha comportato una particolare attenzione del progetto per gli aspetti di possibile impatto sull'ambiente circostante.

L'obiettivo posto è stato quello di prevenire, non solo la diffusione atmosferica di composti dannosi per la salute, ma anche episodi di molestia olfattiva per la popolazione circostante.

Il progetto ha quindi adottato una soluzione impiantistica così schematizzabile:

- Confinamento dell'area destinata alle operazioni di movimentazione dei prodotti da asportare.
- Convogliamento dell'aria confinata ad un dispositivo di abbattimento.
- Monitoraggio dei dispositivi di depurazione previsti in cantiere e dell'area esterna.

In questa sede si illustrano le indicazioni del progetto base, proposto da Italgas e recepite nel progetto per l'esecuzione dei lavori di rimozione dei rifiuti accumulati nelle tre aree di intervento.

Di seguito, si illustra la soluzione adottata per l'intervento sulle vasche.

CONFINAMENTO DELL'AREA DI MOVIMENTAZIONE

Il progetto iniziale proponeva il confinamento di tutta l'area nel cui sottosuolo sono collocate le vasche da cui rimuovere il rifiuto depositato, ciò in quanto si era previsto di operare dopo l'asportazione del terreno sovrastante la struttura e dopo aver demolito la soletta superiore.

Era prevista quindi la realizzazione di una tensostruttura con queste caratteristiche:

- Lunghezza 60 m
- Larghezza 35 m
- Altezza media 6 m
- Volume 12600 m³

Questo volume era previsto fosse mantenuto in depressione convogliando l'aria ad un impianto di abbattimento delle polveri e dei composti organici volatili.

In sede di progettazione della soluzione esecutiva si sono evidenziate le seguenti problematiche:

- Considerata l'età e le caratteristiche costruttive delle vasche interrato, l'asportazione della soletta superiore poteva comportare problemi di statica delle pareti laterali e il rischio di dover procedere ad interventi di armatura di rinforzo, con conseguente difficoltà di movimento per le operazioni di rimozione dei materiali depositati.

- Durante la demolizione delle solette di copertura, buona parte del materiale inerte sarebbe caduto all'interno generando un rifiuto di più difficile smaltimento, in quanto inquinato dalle peci idrocarburiche.
- Il grande volume dell'area confinata (12600 m³) e la scarsa conoscenza delle caratteristiche delle peci depositate, imponeva elevati margini di sicurezza nel dimensionamento della fase di filtrazione su carbone attivo.

Valutati attentamente questi problemi, al fine di evitare problemi di natura statica e per realizzare un dispositivo di depurazione dell'aria aspirata adeguatamente dimensionato, si è optato per una soluzione che prevedeva:

- La realizzazione di un confinamento il cui volume fosse ridotto a quanto strettamente necessario per eseguire le operazioni di rimozione e movimentazione dei prodotti in ambiente confinato e mantenuto costantemente in depressione al fine di impedire fuoriuscite di flussi aeriformi non trattati.
- La riduzione dell'asportazione delle solette di copertura delle vasche, per lo spazio minimo necessario per il raggio di azione delle macchine operatrici e prevedendo il convogliamento del rifiuto verso un unico punto di prelievo per il carico sui mezzi di trasporto.

In figura 1 è riportata la sezione tipo di intervento.



Figura 1: Sezione dell'area di intervento

Caratteristiche del confinamento realizzato

In base alle scelte progettuali adottate, si è realizzata una struttura di supporto in carpenteria metallica, ricoperta con un doppio telo in polietilene rinforzato delle seguenti dimensioni:

- Larghezza 15 m
- Lunghezza 32 m
- Altezza utile 7 m
- Volume 3360 m³

La figura 2 riporta la sezione trasversale di questa struttura.

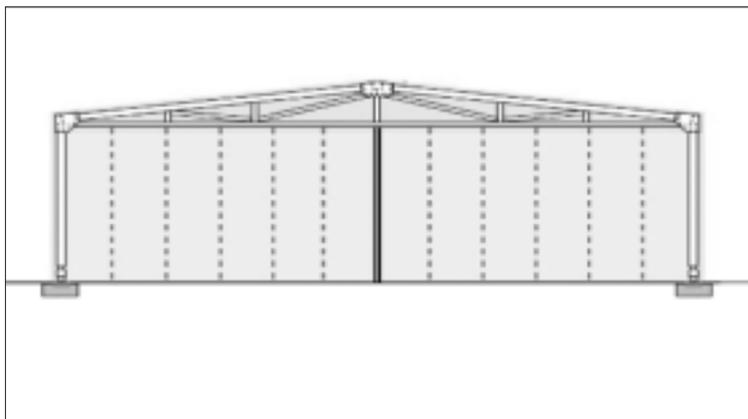


Figura 2: Schema della tensostruttura

IGIENE AMBIENTALE

Previsto che un intervento di tale portata può avere un impatto sull'ambiente circostante o, comunque, creare situazioni di allarme nella popolazione residente, pur avendo tenuto conto di questi aspetti nella progettazione dell'intervento, si è parimenti deciso di attivare una adeguata sorveglianza dell'impatto ambientale sull'area circostante il cantiere.

Le analisi sono state effettuate con frequenza tale da garantire la tempestività dell'informazione sui livelli di inquinamento. Ogni situazione di criticità sarebbe stata immediatamente segnalata agli organi competenti, e si sarebbe provveduto ad attuare gli interventi necessari. In caso di allarme i lavori sarebbero stati immediatamente sospesi e, dopo aver individuato l'origine dell'allarme, prima di riprendere i lavori, si sarebbero adottati gli adeguati provvedimenti.

Ventilazione delle aree di lavoro e bonifica dell'aria espulsa

L'area di movimentazione dei rifiuti da asportare è stata quindi completamente confinata, al fine di consentire la cattura e depurazione dei composti odorigeni che esalavano dai materiali liquidi e solidi depositati nelle cisterne interrate.

Per quanto riguarda lo stato di conoscenza delle caratteristiche chimiche dei prodotti idrocarburi depositati non si disponeva di dati certi sull'omogeneità della massa di prodotto, né è stato possibile acquisire dati qualitativi certi sulla composizione della frazione gassosa, che poteva strappare dalle fasi liquida e solida durante le operazioni di rimozione previste.

Per tanto, al fine di garantire la massima sicurezza di esercizio delle operazioni previste, il dimensionamento dell'impianto di estrazione è stato progettato in base alle classi di sostanze contenute; adottando un sistema di trattamento e di controllo degli estratti che consentisse di garantire sempre l'espulsione di aria depurata da polveri e vapori e senza determinare molestia olfattiva e/o dispersione di sostanze pericolose.

La progettazione per il dimensionamento ha considerato due aspetti: quello della ventilazione

per l'estrazione dell'aria dall'area confinata e quello del trattamento dell'aria prima dell'espulsione all'esterno.

Un altro fattore considerato è stato quello della flessibilità di gestione dei dispositivi di depurazione e del loro impatto in relazione all'esercizio, come ad esempio la rumorosità.

L'area a più elevato rischio di emissioni è sicuramente quella a maggior superficie, che interessa contemporaneamente tre vasche interrata ed è su questa che è stato condotto il dimensionamento, sia della ventilazione che della successiva fase di depurazione.

Per le aree minori si è previsto di riutilizzare i materiali e impianti già usati per l'area principale, adeguandone la dimensione, cosa fattibile in quanto l'impianto di copertura e quello di ventilazione sono costruiti in sezioni modulari smontabili e riasssemblabili con uno sviluppo secondo esigenza.

Ventilazione

Il dimensionamento dell'impianto di estrazione è stato eseguito tenendo conto della necessità di avere un ambiente in depressione e di garantire anche un adeguato ricambio di aria, al fine di mantenere nell'ambiente interno una condizione di microclima che non aggravasse le condizioni di lavoro degli operatori ed evitasse il ristagno di composti idrocarburi gassosi con potenziali rischi di incendio o esplosione.

Per garantire adeguati ricambi d'aria e contenere la dimensione dell'impianto di abbattimento, si è definita un'organizzazione delle fasi di intervento tale da consentire la massima riduzione possibile del volume della parte di cantiere confinata, risultante dal volume del confinamento sommato al volume della vasca in fase di svuotamento.

Il ricambio d'aria è stato realizzato predisponendo due distinte canalizzazioni di aspirazione e posizionando delle griglie di ingresso di aria fresca in modo tale da creare un flusso direzionale che determinasse un ricambio il più possibile omogeneo di tutto il volume d'aria confinato. Poiché il ricambio d'aria ha la funzione di convogliare a depurazione la portata estratta e di immettere un flusso fresco, analizzando le diverse posizioni di lavoro si è scelto di ripartire il flusso aspirato su due distinte linee, una per il ricambio all'interno del capannone, l'altra per il ricambio all'interno della vasca interrata.

L'immissione dell'aria fresca avviene lungo il lato maggiore del capannone per mezzo di finestre, poste in corrispondenza delle tre vasche da bonificare e dotate di serrande di regolazione.

Ne risulta quindi uno schema di flusso dell'aria come riportato nella figura 3:

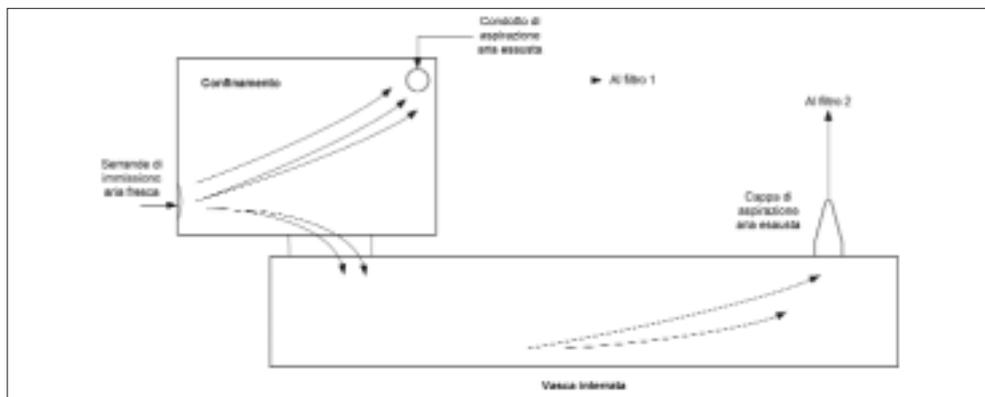


Figura 3: Schema dei flussi dell'aria

Le due canalizzazioni di convogliamento realizzate, sono:

1. canale di aspirazione interno al capannone

Sul lato opposto a quello lungo il quale sono applicate le finestre di ingresso dell'aria fresca, in posizione elevata a circa 500 mm dal soffitto, lungo il lato maggiore si sviluppa il canale di aspirazione. Si determina in tal modo un primo flusso dal basso verso l'alto che aspira gli inquinanti e li convoglia alle fasi di depurazione.

Calcolando che il volume d'aria confinato all'interno del capannone è di 5400 m³ (volume del confinamento più volume delle vasche interrato), si ottengono 5,5 ricambi ora, tenuto conto che la massima portata prevista è di 30.000 m³/ora), valore che si ritiene adeguato ad evitare concentrazioni troppo elevate di inquinanti.

2. canale di aspirazione interno alla vasca in cui sono in corso le operazioni di asportazione del rifiuto e lavaggio.

All'estremità opposta al punto di ingresso in ciascuna vasca è stata posizionata, lungo la larghezza e ortogonale alla soletta di copertura, una cappa di aspirazione che convogliava il flusso aspirato (10.000 m³/ora) al secondo impianto di abbattimento.

Calcolando che il volume d'aria confinato, per la vasca vuota di maggior dimensione, è di circa 1186 m³, si sono ottenuti, in vasca, 8,5 ricambi ora; valore che si ritiene adeguato ad estrarre gli inquinanti presenti che in quest'area raggiungono livelli di concentrazione più elevati.

Un forte ricambio è stato necessario anche per asportare il calore sviluppato dalle macchine operatrici nella fase di rimozione delle parti solide e le nebbie che si formano nella fase di lavaggio delle superfici.

Un forte ricambio è stato necessario per mantenere controllata la concentrazione degli inquinanti, ed evitare innalzamenti di temperatura che avrebbero aumentato la fatica fisica e comportato problemi connessi alla formazione di condense nei caschi dei dispositivi respiratori.

Al fine di ridurre il carico inquinante istantaneo, addotto ai filtri di abbattimento, l'operazione di svuotamento e pulizia è stata programmata in tre fasi successive; ciascuna vasca risanata, prima che inizi il lavoro sulla successiva, viene nuovamente chiusa, mentre le vasche non oggetto di svuotamento restano confinate, sino a quando non è stata ultimata l'operazione di risanamento della precedente.

Il frazionamento delle portate aspirate ha consentito di adattare la ventilazione alle condizioni operative del momento.

Al di fuori dell'orario di lavoro e nelle giornate festive, è stato mantenuto in esercizio il solo ventilatore da 10.000 m³/h, mantenendo così un flusso di asportazione dell'inquinante continuo ed evitando accumuli di composti volatili entro l'area confinata. L'esercizio a pieno regime veniva attivato 30' prima dell'inizio del lavoro e ridotto 15' dopo la fine del lavoro.

La qualità dell'aria ambiente è stata costantemente verificata dai dispositivi di monitoraggio che verificavano: temperatura, % v/v ossigeno, esplosività.

Depurazione dell'emissione

L'aria aspirata dall'area di lavoro, prima di essere espulsa all'esterno, viene trattata, al fine di evitare la diffusione delle polveri prodotte dalla movimentazione di mezzi e materiali e dell'odore emesso dai prodotti da asportare.

Gli inquinanti presi in considerazione sono stati: le polveri e gli idrocarburi volatili.

a) polveri

Una volta conformata l'area di lavoro ed eretta la struttura di confinamento, montato l'impianto di ventilazione e di depurazione, si darà inizio al taglio della soletta di copertura per la superficie necessaria all'ingresso delle macchine operatrici e del personale addetto per le operazioni di asportazione dei materiali contenuti in ciascuna vasca.

La polvere fine prodotta in questa fase è quindi asportata dall'impianto di ventilazione e trattenuta da un filtro per polveri.

Nelle fasi di asportazione e carico del materiale, la polvere sospesa nell'ambiente è modesta in quanto il movimento dei mezzi è assolutamente limitato e avviene a passo d'uomo.

L'impianto di filtrazione, oltre ad impedire comunque l'immissione all'esterno di polvere, ha principalmente lo scopo di proteggere la successiva fase di filtrazione su carbone attivo.

L'aria spirata dai due rami di ventilazione affluisce ad un plenum di compensazione della capacità di 5.000 m³ e si immette nell'impianto filtrante, così composto e dimensionato:

- filtro a secco statico, a cartucce filtranti;
- superficie filtrante totale mq 210;
- materiale della cartuccia: fibrocellulosa con resine epossidiche;
- pulizia manuale.

b) idrocarburi volatili

I prodotti contenuti nelle vasche, oltre ai residui derivanti dalle operazioni di demolizione parziale delle solette o da scarico di inerti avvenuto in epoca passata, sono costituiti da acque inquinate da idrocarburi e da peci di diversa densità, derivate dalla pregressa attività di distillazione di carbone fossile.

Come detto, non è stato possibile determinare la composizione chimica e concentrazione dei componenti della frazione volatile per cui la scelta e il dimensionamento del processo di abbattimento sono stati definiti in base alla composizione nota dei prodotti da asportare.

Questi prodotti sono risultati essere una miscela di idrocarburi, prevalentemente caratterizzata dalle seguenti classi di composti:

- fenolo e composti fenolici;
- benzene e composti benzenici;
- toluene e suoi composti;
- composti naftenici;
- composti antracenicici;

tutti prodotti con una bassa soglia olfattiva.

La scelta di processo adottata è stata quella di una filtrazione su carbone attivo, per le caratteristiche del carbone e per il dimensionamento della colonna si sono adottati i parametri usualmente adottati per impianti di filtrazione su carbone attivo:

- velocità di attraversamento <0.2 m/s - (limite RL = < 0,4)
- tempo di contatto 1,75 s - (limite RL = > 1,5)

Non conoscendo la concentrazione effettiva dell'inquinante in ingresso si è previsto di strutturare e monitorare ciascun impianto in modo di conoscere con anticipo il calo di rendimento di adsorbimento.

L'abbattimento è suddiviso su due filtri orizzontali; a monte e a valle di ciascun filtro è stato previsto un punto di prelievo per l'analisi del flusso in ingresso e in uscita.

Ai fini della verifica del grado di esaurimento del carbone, i filtri sono dotati di una flangia per il prelievo del carbone.

In cantiere è sempre stata resa disponibile una ricarica completa per un filtro.

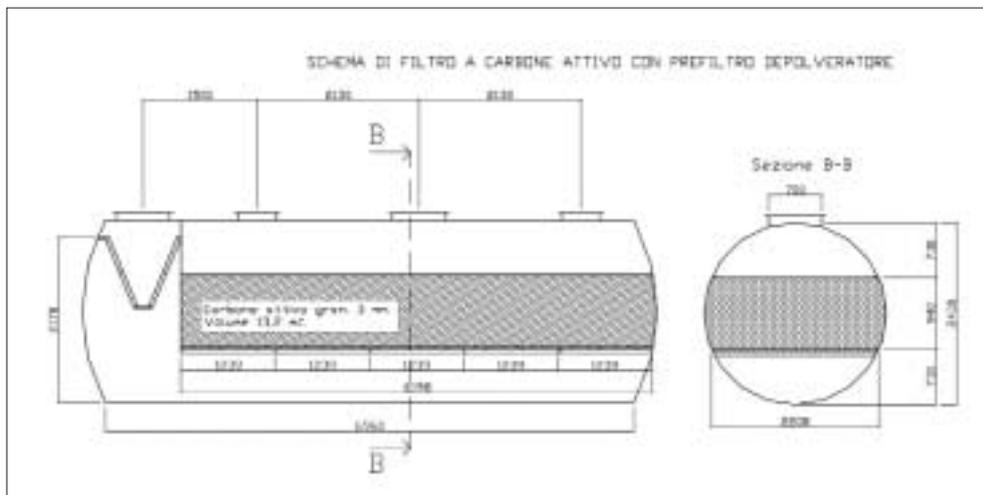


Figura 4: Container dei carboni filtranti

La scelta di realizzare due filtri del tipo orizzontale è stata dettata da esigenze di gestione di cantiere e di trasporto.

La realizzazione di un unico filtro, con la classica struttura a colonna verticale, avrebbe comportato dimensioni che, per diametro e altezza, non consentivano un normale trasporto su strada. Una sola struttura non avrebbe poi consentito la successiva modulazione per gli interventi di minor dimensione previsti sulle altre due aree.

Rumorosità

L'attività si svolge all'interno di un'area industriale, al fine di garantire comunque il rispetto dei limiti di norma, sia per l'ambiente di lavoro che per l'immissione sonora all'esterno della area, in condizioni diurne e notturne, i ventilatori saranno racchiusi in box fonoassorbente con ventilazione forzata per il ricambio dell'aria di raffreddamento.

Come da DPCM del 14/11/1997 Tabella C - Leq_d dB (A) si rispetteranno i limiti previsti per la classe d'area IV, area ad intensa attività umana corrispondenti a 65 per tempo diurno e 55 per il tempo notturno. Ciò possibile anche perché in tempo notturno e festivo si mantiene in esercizio il solo ventilatore da 10.000 m³/h.

La realizzazione dei dispositivi di filtrazione secondo una disposizione orizzontale, ha consentito di mantenere la maggiore sorgente di rumore, rappresentata dalla velocità di espulsione dell'aria dal camino, ad una quota inferiore alle strutture industriali circostanti.

LA VALUTAZIONE DEL RISCHIO CHIMICO

Premessa

In ottemperanza a quanto previsto dall'art. 72 comma quater introdotto dal D.Lgs. del 2 feb-

braio 2002, n. 25 "Attuazione della direttiva 98/24/CE sulla protezione della salute e della sicurezza dei lavoratori contro i rischi derivanti da agenti chimici durante il lavoro", nel predisporre l'attività di cantiere, l'Italgas si è attivata per effettuare la valutazione del rischio chimico.

Normativa

Nella valutazione di cui all'art. 4 del D.L.vo 626/94, il datore di lavoro determina, preliminarmente, l'eventuale presenza di agenti chimici pericolosi sul luogo di lavoro e valuta anche i rischi per la sicurezza e la salute dei lavoratori derivanti dalla presenza di tali agenti, prendendo in considerazione in particolare:

- a) le loro proprietà pericolose;
- b) le informazioni sulla salute e sicurezza comunicate dal produttore o dal fornitore tramite la relativa scheda di sicurezza predisposta ai sensi del D.Lgs. 3 febbraio 1997, n. 52 e D.Lgs. 16 luglio 1998, n. 285 e successive modifiche;
- c) il livello, il tipo e la durata dell'esposizione;
- d) le circostanze in cui viene svolto il lavoro in presenza di tali agenti, compresa la quantità degli stessi;
- e) i valori limite di esposizione professionale o i valori limite biologici; di cui un primo elenco è riportato negli allegati VIII-ter ed VIII-quater;
- f) gli effetti delle misure preventive e protettive adottate o da adottare;
- g) se disponibili, le conclusioni tratte da eventuali azioni di sorveglianza sanitaria già intraprese.

Il D.Lgs. 2 febbraio 2002 n. 25, integrando la valutazione dei rischi, prescrive al Datore di Lavoro di effettuare:

- la valutazione dei rischi di esposizione dei lavoratori preliminarmente,
- di aggiornarla periodicamente in funzione di modifiche sostanziali nel frattempo intercorse,
- di prendere in base alle risultanze, tutte le misure di prevenzione e protezione, collettiva ed individuale, necessarie a ridurre al minimo il rischio.

La valutazione dei rischi deve contenere le informazioni relative a:

- natura, caratteristiche di pericolosità e quantitativi delle sostanze chimiche presenti;
- modalità di utilizzo, misure di prevenzione e protezione messe in atto;
- entità di esposizione, intesa come numero di lavoratori potenzialmente esposti, tipo, durata e frequenza dell'esposizione;
- effetti delle misure di sicurezza messe in atto;
- valori limite di esposizione e valori biologici dell'agente;
- risultati dei controlli sanitari e dei monitoraggi ambientali effettuati;
- eventuali conclusioni tratte dalle azioni di sorveglianza sanitaria già intraprese;
- eventuali misure che si ritenga mettere in atto, in base alle risultanze della valutazione dei rischi.

Gli agenti chimici sono quelli classificati o classificabili come:

- sostanze pericolose ai sensi del decreto legislativo 3 febbraio 1997, n. 52, e successive modifiche;
- preparati pericolosi ai sensi del decreto legislativo 14 marzo 2003, n. 65, e successive modifiche;
- sostanze che possano comportare un rischio per la sicurezza e la salute dei lavoratori a causa di loro proprietà chimico-fisiche chimiche o tossicologiche e del modo in cui sono utilizzati o presenti sul luogo di lavoro;
- gli agenti chimici cui è stato assegnato un valore limite di esposizione professionale.

In particolare occorre riferirsi a sostanze e preparati:

- a) esplosivi
- b) comburenti
- c) estremamente infiammabili
- d) facilmente infiammabili
- e) infiammabili
- f) molto tossici
- g) tossici
- h) nocivi
- i) corrosivi
- j) irritanti
- k) sensibilizzanti
- l) cancerogeni
- m) mutageni
- n) tossici per il ciclo riproduttivo

Sono esclusi dal campo di applicazione del D.Lgs. 25/02 sostanze e preparati che siano solo:

- o) pericolosi per l'ambiente.

Il D.Lgs. 25/02 introduce il concetto di "rischio moderato" e viene stabilito che quando il processo valutativo indica il non superamento di tale soglia di rischio, il datore di lavoro deve applicare le misure e i principi generali di prevenzione di cui all'art. 72-quinquies comma 1 del D.L.vo 626/94 (nonché di tutte le altre norme di prevenzione e protezione) e sia invece sollevato dall'applicazione di specifiche misure di tutela quali la sorveglianza sanitaria, le cartelle sanitarie e di rischio, le misure specifiche di protezione e prevenzione e le disposizioni in caso di incidenti o di emergenza.

Le tabelle 3 e 4 riportano un quadro dei principali riferimenti normativi relativi al rischio chimico.

Tabella 3: **Obblighi normativi**

Rischio di esposizione	Riferimento normativo	Obblighi
Moderato	D.Lgs. 19 settembre 1994 n. 626 art. 72-quinquies comma 2	<ul style="list-style-type: none"> • Valutazione dei rischi • Informazione e formazione
Non moderato	D.Lgs. 19 settembre 1994 n. 626 art. 72-quinquies comma 2	<ul style="list-style-type: none"> • Valutazione dei rischi • Informazione e formazione • Misure specifiche di protezione e prevenzione • Disposizioni in caso di incidenti o di emergenze • Sorveglianza sanitaria

Tabella 4: **Obblighi normativi**

Argomento	Riferimento
Sicurezza e igiene del lavoro	D.Lgs. 19/09/94 n°626 e succ. mod. <ul style="list-style-type: none"> • TITOLO VII - PROTEZIONE DA AGENTI CANCEROGENI MUTAGENI (come modificato dal D.Lgs. 25/02/00 n° 66) • TITOLO VII bis - PROTEZIONE DA AGENTI CHIMICI (come modificato dal D.Lgs. 02/02/02 n° 25) D.P.R. 19/03/56 n° 303 <ul style="list-style-type: none"> • Capo II - Difesa dagli agenti nocivi D.P.R. 27/04/55 n° 547 <ul style="list-style-type: none"> • TITOLO VIII - MATERIE E PRODOTTI PERICOLOSI O NOCIVI
Agenti a rischio di incendio ed esplosione	D.M. 10/03/98 D.P.R. 23/03/98 n° 126 D.Lgs. n. 233/03
Dispositivi di protezione individuali	D.Lgs. 04/12/92 n°475 D.M. 02/05/01
Classificazione, etichettatura e imballaggio di sostanze e preparati pericolosi	L. 02/02/97 n° 52 D.Lgs. 14/3/2006 n° 65
Segnaletica di sicurezza	D.Lgs. 14/08/96 n°493
Attività comportanti rischi di incidente rilevante	D.Lgs. 17/08/99 n° 334 e s.m.e i. D.M. 16/03/98

Metodologia per la valutazione dei rischi di esposizione agli agenti chimici pericolosi

Il D.L.vo 25/02 prospetta al datore di lavoro due compiti:

- Determinare preliminarmente la presenza eventuale di agenti chimici pericolosi sul luogo di lavoro.
- Valutare i rischi per la sicurezza e la salute dei lavoratori derivanti dalla presenza di tali agenti.

Nella Figura 5 è rappresentato lo schema logico previsto dal D.Lgs. 25/2002 per la valutazione del rischio di esposizione agli agenti chimici.

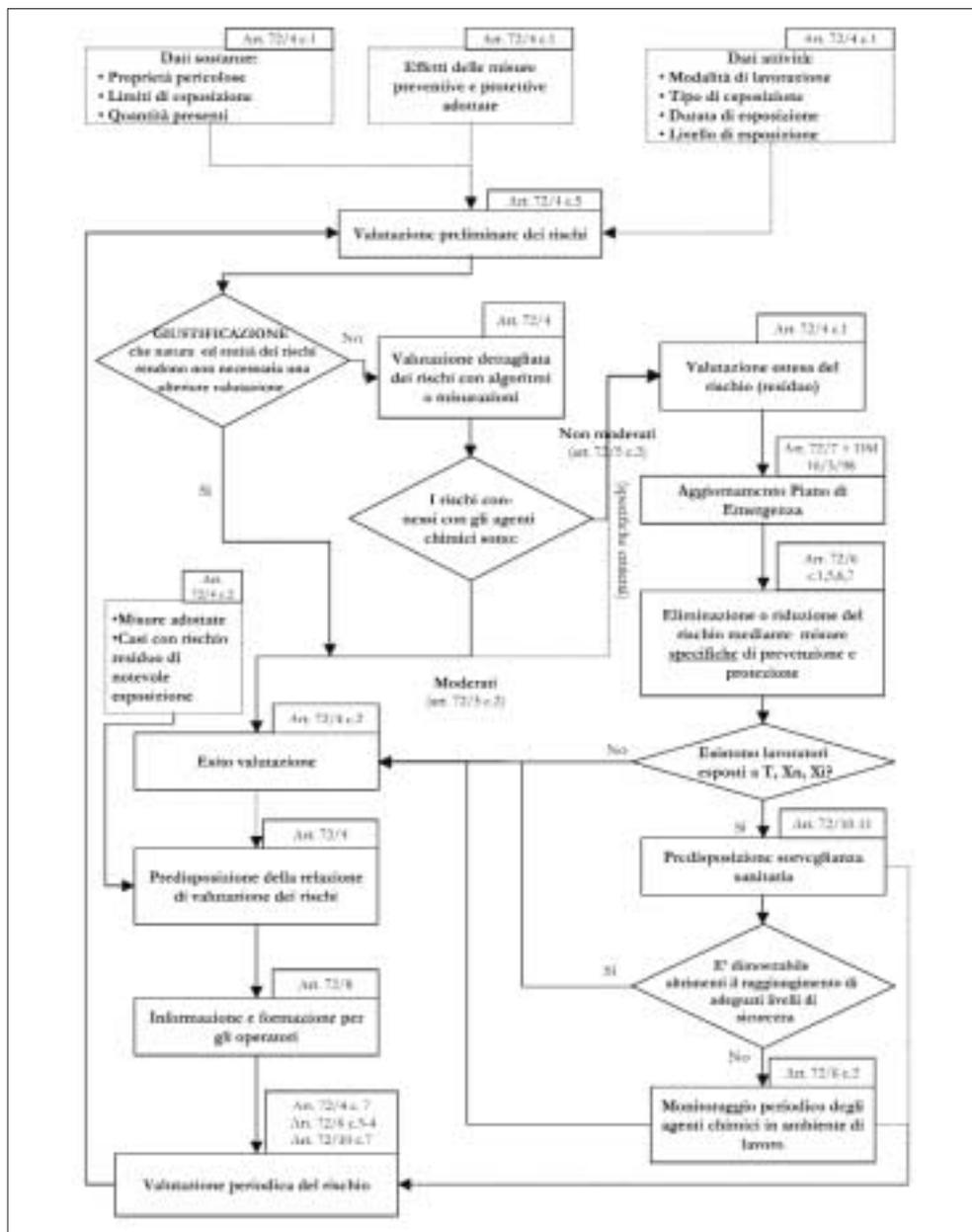


Figura 5: Schema per la valutazione del rischio chimico

Algoritmo di calcolo

Si riporta la descrizione qualitativa del metodo utilizzato per effettuare la valutazione preliminare del pericolo mediante il programma Agenti chimici 626 - *CHEMICAL EXPOSURE OPERATING EVALUATION*.

Il programma prende in considerazione:

- a) le seguenti **modalità di esposizione**:
 - inalazione
 - contatto con la pelle
 - ingestione
 - irraggiamento
 - onda d'urto
 - gli effetti derivanti da :
 - instabilità o incompatibilità
 - stato chimico-fisico dell'agente chimico pericoloso
- b) tre tipologie di situazioni lavorative:
 - attività con esposizione normalmente prevista
 - attività con esposizione accidentale
 - attività con esposizione da contaminazione dell'ambiente di lavoro

La combinazione tra le tipologie dei pericoli e le tipologie delle situazioni lavorative è riportata in tabella 5 (le sigle indicano i vari indici di rischio potenziale):

Tabella 5: **Indici di pericolo**

Tipologia attività/pericolo	Inalazione	Contatto con la pelle	Ingestione	Irraggiamento	Onda d'urto	Instabilità/incompatibilità	Pericoli dovuti allo stato chimico-fisico
Con esposizione normalmente prevista	IR _{INAp}	IR _{CCPp}	IR _{INGp}	-	-	-	-
Con esposizione accidentale	IR _{INAa}	IR _{CCPa}	IR _{INGa}	IR _{IRR}	IR _{ODU}	IR _{INS}	IR _{STF}
Con esposizione da contaminazione dell'ambiente di lavoro	IR _{INAc}	IR _{CCPc}	IR _{INGc}	-	-	-	-

Trattando di rischio chimico, buona parte dell'indice IR é ascrivito alle caratteristiche di pericolo dell'agente chimico considerato; per questo motivo, a ciascun agente chimico, é associata una serie di indici di pericolo, ciascuno relativo ad una particolare tipologia di pericolo.

Gli indici definiti si possono così riassumere:

- IP_{INA}: indice di pericolo relativo alla via inalatoria
- IP_{CCP}: indice di pericolo relativo alla via da contatto con la pelle

- IP_{ING} : indice di pericolo relativo alla via di ingestione;
- IP_{IRR} : indice di pericolo relativo al pericolo di irraggiamento da incendio;
- IP_{ODU} : indice di pericolo relativo al pericolo di onda d'urto da esplosione;
- IP_{INS} : indice di pericolo relativo all'instabilità o all'incompatibilità dell'agente chimico con altri;
- IP_{STF} : indice di pericolo relativo ai pericoli dovuti alle caratteristiche chimico-fisiche.

Il valore assegnato agli IP dipende principalmente dalle frasi di rischio assegnate all'agente chimico pericoloso ai sensi della normativa sull'etichettatura di sostanze e preparati.

Nel caso di rischio di tipo inalatorio l'algoritmo tiene conto anche dello stato fisico a temperatura ambiente, con una maggiore penalità nelle situazioni per le quali è più alta la possibilità di passare allo stato di dispersione in ambiente di lavoro.

I valori degli indici di pericolo vengono corretti anche in base alla qualità, alla completezza e alla coerenza della scheda di sicurezza.

I valori di IP dell'agente vengono corretti sulla base dello stato fisico nelle condizioni di utilizzo (questa correzione non viene effettuata nel caso di agenti pericolosi a causa del loro stato fisico).

Per quanto riguarda gli altri fattori dai quali dipende il livello di rischio viene considerato anche il livello di formazione/informazione.

Inoltre sono presi in considerazione i singoli gruppi di variabili che hanno un'influenza sui livelli di esposizione potenziale; a tale fine sono state definite tre situazioni lavorative diverse:

- 1. Attività con esposizione normalmente prevista:** si tratta della situazione nella quale l'esposizione all'agente chimico è normalmente prevista durante le operazioni svolte dall'operatore (ad esempio per l'aggiunta manuale dell'agente ad una vasca o per la necessità di entrare in contatto fisico con l'agente).
- 2. Attività con esposizione accidentale:** si tratta della situazione nella quale l'esposizione all'agente chimico non è prevista, ossia delle lavorazioni a ciclo chiuso. In questo caso l'esposizione all'agente si può verificare solo a seguito di anomalie operative o incidenti.
- 3. Attività con esposizione da contaminazione dell'ambiente di lavoro:** si tratta del caso in cui si può avere esposizione all'agente chimico a causa di piccole perdite non controllate che comportano la diffusione dell'agente nell'ambiente di lavoro.

Per ciascuna situazione lavorativa e ciascuna via di esposizione, al fine di rendere maggiormente strutturata ed organica l'analisi, viene utilizzato il criterio di seguire l'agente chimico dalla sua "posizione" iniziale fino ad arrivare al contatto con l'operatore.

Per ciascuna delle attività sopra descritte sono state messe a punto gruppi di domande che consentono di attribuire ai diversi fattori che compongono l'indice di rischio potenziale opportuni valori.

Vengono quindi sommati tra loro i diversi contributi relativi alle diverse tipologie di pericoli e di attività svolte e calcolati gli indici di rischio complessivi per tipologia di pericolo e di attività per ciascun agente chimico implicato in ciascuna mansione.

In maniera analoga viene calcolato l'indice di rischio complessivo per ciascuna mansione.

Dall'analisi descritta è quindi possibile desumere un giudizio quali-quantitativo che può aiutare a classificare il pericolo di esposizione agli agenti chimici ed in particolare, come previsto dal D.Lgs. 25/2002.

La metodologia *CHemical EXposure OPerating Evaluation* permette di calcolare un indice di rischio di esposizione agli agenti chimici variabile tra 0 e 16.

In base all'indice calcolato il Datore di lavoro può definire l'attività a rischio di esposizione moderato o non moderato definendo la soglia per tale valutazione e tenendo conto che:

- per valori dell'indice $IR < 1,6$ è molto probabile che il pericolo possa essere definito moderato
- per valori dell'indice $IR > 4$ è molto probabile che il pericolo possa essere definito non moderato



Figura 7: Maschera informazioni lavoratori



Figura 8: Maschera condizioni di lavoro



Figura 9: Maschera valutazione condizioni di lavoro



Figura 10: Maschera agente catrame

L'applicazione della metodologia CHEOPE, ha portato all'assegnazione di un livello di rischio non moderato (dato già prevedibile a priori in quanto si trattava di sostanze cancerogene) per gli addetti alla bonifica rendendo necessario applicare tutti gli adempimenti normativi previsti dal titolo VII e VII bis del D.Lgs. 626/94 specifici per gli agenti chimici pericolosi e per i cancerogeni. In particolare, trattandosi di una bonifica, non era possibile ridurre l'uso dell'agente cancerogeno sostituendolo né era possibile realizzare un ciclo chiuso per cui è risultato necessario:

- adottare misure specifiche di prevenzione e protezione;
- aggiornare il Piano di emergenza per includere eventuali scenari incidentali relativi a rischi chimici;
- adottare idonei DPI per le vie respiratorie e per il corpo;
- limitare il numero degli esposti ad agenti cancerogeni;
- programmare e sorvegliare le lavorazioni dotando l'ambiente generale di un adeguato sistema di ventilazione;
- provvedere alla pulizia degli ambienti, attrezzature ed impianti;
- prevedere la sorveglianza sanitaria per gli esposti ad agenti pericolosi e cancerogeni per la salute;
- valutare l'esposizione dei lavoratori addetti attraverso misure ambientali e personali;
- assicurarne il trasporto, la raccolta e lo smaltimento in condizioni di sicurezza;
- assicurare che i lavoratori disponessero di servizi igienici adeguati ed appropriati;
- fornire ai lavoratori sulla base delle conoscenze disponibili informazioni ed istruzioni di cui all'art. 66 del D.Lgs. 626/94;
- adottare, in caso di esposizioni non prevedibili o incidenti che potevano comportare un'esposizione anomala dei lavoratori, misure appropriate per identificare e rimuovere la causa dell'evento ed informarne i lavoratori ed i rappresentanti per la sicurezza dandone comunicazione all'organo di vigilanza;
- disporre che solo i lavoratori addetti avessero accesso alle aree dell'intervento;
- istituire il registro degli esposti a cancerogeni.

I lavoratori all'interno dello spazio confinato hanno quindi operato dotati di: maschera pienofacciale elettroventilata, tuta intera monouso con cappuccio in PP multistrato di cat III antistatica, stivali in PVC e/o calzature di sicurezza, guanti resistenti a olii e grassi.

Le lavorazioni prevedevano cicli di 90' intervallati da pause di 30'.

E' stato attivato un protocollo sanitario con monitoraggio biologico delle specie chimiche cancerogene.

Con la presa in carico del cantiere sono state effettuate le analisi del materiale in massa dal piano di caratterizzazione iniziando a valutare le sostanze da monitorare (Tabella 6).

Tabella 6: **Sostanze presenti nei catrami**

SOSTANZE		
Benzene	Fenantrene	Piombo
Propilbenzene	Benzo(a)pirene	Nichel
Toluene	Benzofluorantene	Cobalto
Etilbenzene	Benzo(h,i)terilene	Zinco
Xileni(o,m,p)	Crisene	Vanadio
Trimetilbenzeni	Naftalene	Cromo VI
Acenaftene	Antracene	Rame
Acenaftene	Dibenzo(a,h)antracene	Ammoniaca
Fluorene	Fenoli Volatili	Polveri di legno

Le campagne di monitoraggio nell'aria dell'ambiente confinato e dell'ambiente esterno, hanno permesso di tipizzare la composizione delle sostanze organiche emesse dai residui catramosi durante le operazioni di rimozione. Sono state così rilevate concentrazioni di benzene significative e superiori ai valori limite previsti, concentrazioni di idrocarburi policiclici aromatici, in particolare naftalene, non particolarmente elevate e presenza di altri composti organici aromatici inferiori ai relativi TLV (xilene, toluene, etilbenzene).

Nella tabella 7 sono raccolti alcuni esempi di risultati analitici provenienti dal laboratorio CON-TARP dell'INAIL, discussi più avanti in modo più dettagliato, di un campionamento effettuato dall'ASL Roma C.

Tabella 7: Esempio di alcuni risultati ottenuti in mg/m^3

Sostanze	Operatore a terra	Escavatorista	Mansione mista	Ambientale vicino alla baracca	Ambientale vicino alla vasca centrale	Ambientale di fronte alla vasca centrale
<i>Benzene</i>	7.19	1.73	4.64	n.d	0.32	1.43
<i>Naftalene</i>	0.68	<loq	0.28	0.4	<loq	0.16
<i>Toluene</i>	5.13	1.18	3.21	nd	0.2	0.96
<i>Etilbenzene</i>	0.02	nd	<loq	nd	nd	nd
<i>O,m,p,xilene</i>	4.49	0.81	2.64	nd	0.13	0.65
<i>Cumene</i>	n.d	n.d.	n.d.	n.d	n.d.	n.d.
<i>Propilbenzene</i>	0.15	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
<i>1,3,5 trimetil- benzene</i>	0.15	nd.	nd.	nd.	nd.	nd.
<i>1,2,4 trimetilbenzene</i>	0.59	nd.	0.09	n.d.	n.d.	n.d.

Non è stata rilevata presenza di altri idrocarburi policiclici aromatici, oltre al naftalene, in concentrazioni superiori ai limiti di rilevabilità strumentale.

Nella tabella 8 possiamo osservare alcuni risultati del monitoraggio del benzene e del naftalene; il naftalene sarà anche spesso l'unico IPA ricercato nelle analisi ambientali.

Tabella 8A: Riassunto prelievi relativi al Benzene (mg/m^3)

Data prel.	Postazione	Concentrazione Puntuale	Esposizione 1	Esposizione 2	Limiti
23.09.05	Personale interno vasca	7,69	4,33	5,77	3,25
23.09.05	Personale interno vasca	4,13	2,32	3,10	3,25
23.09.05	Personale operatore – II fase	14,1	7,93	10,58	3,25
23.09.05	Personale operatore – II fase	11,36	6,39	8,52	3,25
23.09.05	Ambientale vicino vasca	1,32	0,74	0,99	3,25
23.09.05	Ambientale lontano vasca	0,13	0,07	0,10	3,25
05.10.05	Ambientale vasca nord	1,00	0,56	0,75	3,25
05.10.05	Ambientale vasca centrale	0,37	0,21	0,28	3,25
05.10.05	Ambientale vasca sud	0,43	0,24	0,32	3,25
05.10.05	Ambientale vicino camino	0,01	0,01	0,01	3,25
26.10.05	Personale interno vasca	5,1	2,87	3,83	3,25
26.10.05	Personale operatore pala	1,2	0,68	0,90	3,25
26.10.05	Ambientale lontano vasca	0,19	0,11	0,14	3,25
26.10.05	Ambientale vasca nord	0,53	0,30	0,40	3,25

Esposizione giornaliera ponderata su 3 turni di lavoro da 90 minuti
Esposizione giornaliera ponderata su 4 turni di lavoro da 90 minuti

Tabella 8B: Riassunto prelievi relativi al Naftalene (mg/m³)

Data prel.	Postazione	Concentrazione Puntuale	Esposizione 1	Esposizione 2	Limiti
23.09.05	Personale interno vasca	0,42	0,24	0,32	52
23.09.05	Personale interno vasca	0,37	0,21	0,28	52
23.09.05	Personale operatore – II fase	1,59	0,89	1,19	52
23.09.05	Personale operatore – II fase	1,10	0,62	0,83	52
23.09.05	Ambientale vicino vasca	0,04	0,02	0,03	52
23.09.05	Ambientale lontano vasca	/	/	/	52
05.10.05	Ambientale vasca nord	1,06	0,60	0,80	52
05.10.05	Ambientale vasca centrale	0,16	0,09	0,12	52
05.10.05	Ambientale vasca sud	0,16	0,09	0,12	52
05.10.05	Ambientale vicino camino	0,05	0,03	0,04	52
26.10.05	Personale interno vasca	0,88	0,50	0,66	52
26.10.05	Personale operatore pala	0,20	0,11	0,15	52
26.10.05	Ambientale lontano vasca	/	/	/	52
26.10.05	Ambientale vasca nord	0,04	0,02	0,03	52

Esposizione giornaliera ponderata su 3 turni di lavoro da 90 minuti

Esposizione giornaliera ponderata su 4 turni di lavoro da 90 minuti

La ricerca dell'ammoniaca aveva dato esiti negativi (concentrazione inferiore ai limiti di rilevanza della metodica utilizzata); le concentrazioni di fenolo erano risultate inferiori al 2% del valore limite ACGIH 2004.

Nell'elenco delle sostanze da monitorare erano previste le polveri di legno, la cui presenza era legata al bisogno di addensare con della segatura il materiale quando fosse risultato troppo fluido.

Considerato che la segatura utilizzata era di legni non duri, che le operazioni si sono limitate ad alcuni momenti e che le operazioni non evidenziavano emissioni di polveri totali significative, non sono stati eseguiti rilievi ambientali né per le polveri totali né per le polveri di legno; per le motivazioni di cui sopra non è così stato effettuato neanche il monitoraggio ambientale dei metalli pesanti; il piombo è stato comunque determinato nei liquidi biologici.

Ulteriori informazioni sulla presenza di inquinanti ambientali sono stati forniti da tre fotoionizzatori multigas portatili a batteria, di cui due sugli operatori addetti all'utilizzo dei mezzi di movimentazione dotati di rilevazione in continuo del monossido di carbonio, dell'ammoniaca e delle SOV e con sensore catalitico per l'esplosività.

Alla luce della corretta tipizzazione della composizione del catrame e della sua frazione volatile è stata rivista la valutazione del rischio inserendo nel software, fra gli elementi di valutazione il benzene e il naftalene.

Riapplicando il modello si è potuto effettuare una valutazione del rischio chimico per sostanza riassunta nelle tabelle 9 e 10.

Tabella 9: **Area confinata**

	Capocantiere	Escavatorista	Operatore a terra	
	<i>Sostanza</i>	<i>Rischio</i>	<i>Rischio</i>	<i>Rischio</i>
Benzene	Non moderato	Non moderato	Non moderato	
Naftalene	Non moderato	Non moderato	Non Moderato	
Xileni	Moderato	Moderato	Moderato	
Toluene	Moderato	Moderato	Moderato	
Etilbenzene	Moderato	Moderato	Moderato	
SOV totali	Moderato	Moderato	Non Moderato	
Polveri di legno	Moderato	Moderato	Moderato	
Metalli pesanti	Moderato	Moderato	Moderato	
Fenolo	Moderato	Moderato	Moderato	
Ossido di Carbonio	Moderato	Moderato	Moderato	
Piombo	Moderato	Moderato	Non Moderato	

Tabella10: **Vasche sotterranee**

<i>Sostanza</i>	Operatore su miniescavatore e minipala	Operatore addetto al lavaggio vasche
	<i>Rischio</i>	<i>Rischio</i>
Benzene	Non moderato	Non moderato
Naftalene	Non moderato	Non moderato
Xileni	Moderato	Moderato
Toluene	Moderato	Moderato
Etilbenzene	Moderato	Moderato
SOV totali	Non Moderato	Moderato
Polveri di legno	Moderato	Moderato
Metalli pesanti	Moderato	Moderato
Fenolo	Moderato	Moderato
Ossido di Carbonio	Moderato	-
Piombo	Non Moderato	Moderato

Nelle figure 11-13 vengono mostrate nuove schermate relativamente al benzene.



Figura 11: Maschera agente Benzene



Figura 12: Maschera mansione



Figura 13: Maschera riepilogativa con indici

CONSIDERAZIONI

La valutazione da agenti chimici pericolosi è un obbligo da parte del datore di lavoro che deve avvenire in modo preliminare all'inizio dell'attività, nel caso in esame le lavorazioni espongono i lavoratori ad agenti chimici pericolosi e cancerogeni di cui si conosceva solo in parte la composizione quali-quantitativa. Si è scelto di utilizzare un software come quello di CHEOPE in quanto le sostanze identificate erano tutte classificate e quindi valutabili dall'algoritmo. In fase iniziale il modello dava un giudizio di rischio aspettato per i catrami che essendo cancerogeni espongono ad un livello di rischio non moderato, ma era necessario definire il livello di rischio di tutte le sostanze contenute nei catrami e identificabili. E' quindi stato ripetuto il processo di valutazione per tutte le sostanze rilevate dalle varie determinazioni analitiche ed è stata aggiornata la valutazione del rischio definendo meglio i livelli di rischio per singolo componente. In particolare la valutazione di dettaglio evidenzia un rischio non moderato da agenti chimici cancerogeni quali benzene e naftalene per gli addetti alla rimozione e moderato per altri agenti chimici come toluene, xilene ecc. E' opportuno tenere conto che i modelli costituiscono sempre solo dei riferimenti e non sono mai esaustivi delle reali situazioni soprattutto nel caso in cui ci si trovi ad avere esposizioni a matrici complesse come questa dei catrami. Quando si hanno miscele di più sostanze che presentano caratteristiche chimico-fisiche e tossicologiche diverse gli effetti sulla salute e sulla sicurezza non sono sempre facilmente prevedibili e diviene strategica la funzione dell'esperto che effettua la valutazione del rischio il quale può applicare dei parametri più cautelativi e protettivi per la definizione del livello di rischio. Un modello complesso come quello di CHEOPE consente interventi correttivi da parte del valutatore, ma richiede una buona conoscenza sia della metodologia applicata che delle proprietà chimico-fisiche e tossicologiche delle sostanze. Un ulteriore aspetto di cui tenere conto è dovuto al fatto che l'algoritmo non consen-

te di valutare gli effetti sinergici o i cosiddetti effetti miscela, infatti anche se come in questo caso i livelli riscontrati di xilene, toluene, etilbenzene ecc. erano singolarmente ridotti era necessario considerare che i livelli totali delle SOV anche non tipizzati erano elevati per cui era corretto da parte dell'esperto che utilizza il software e che rivaluta in modo critico i dati ottenuti definire un livello di rischio non moderato anche per le SOV.

Il modello richiede comunque delle valutazioni di controllo ed opportune modulazioni dei coefficienti applicati per definire correttamente i livelli di rischio inoltre, trattandosi di un algoritmo teorico che non ha avuto alcuna sperimentazione sul campo, deve essere considerato unicamente come strumento di lavoro sfruttando le informazioni del database di classificazione e dei coefficienti che pesano i vari contributi al livello di rischio integrando con proprie valutazioni le parti carenti e specificando per ogni agente chimico il livello di rischio per la salute e per la sicurezza.

MONITORAGGIO INQUINANTI NEL CONTESTO DELLA RIMOZIONE E SMALTIMENTO RIFIUTI CATRAMOSI

Premessa

Il controllo delle emissioni di inquinanti in atmosfera rappresenta un elemento fondamentale, unitamente con la rete di rilevamento, per le attività di prevenzione e valutazione del potenziale degrado della qualità dell'aria su un dato territorio.

In un contesto particolarmente delicato, come quello rappresentato dal sito Italgas di Roma San Paolo in cui si sono realizzate le attività di rimozione e smaltimento dei catrami contenuti in tre vasche interrato, il monitoraggio atmosferico esterno assume il ruolo importante e significativo di indicatore della qualità dell'aria ma soprattutto quello di indicatore delle eventuali modificazioni dell'aria indotte dalle lavorazioni effettuate nel cantiere.

Lo scopo della presente relazione è quello di illustrare l'approccio metodologico adottato per la valutazione del potenziale inquinamento dell'aria connesso alle attività di cantiere e di presentare i risultati ottenuti.

Normativa di riferimento

- DPCM 28 marzo 1983 - Limiti massimi di accettabilità delle concentrazioni e di esposizione relativi ad inquinanti dell'aria e dell'ambiente esterno.
- DPR 24 maggio 1988 n. 203 - Attuazione delle direttive CEE numeri 80/779, 82/884, 84/360 e 85/203 concernenti norme in materia di qualità dell'aria, relativamente a specifici agenti inquinanti, e di inquinamento prodotto da grandi impianti industriali.
- DM 20 maggio 1991 - Criteri per la raccolta dei dati inerenti la qualità dell'aria.
- DM 20 maggio 1991 - Criteri per l'elaborazione dei piani regionali per il risanamento e la tutela della qualità dell'aria.
- DM 6 maggio 1992 - Definizione del sistema finalizzato al controllo ed assicurazione di qualità dei dati di inquinamento atmosferico ottenuti dalle reti di monitoraggio.
- DM 15 aprile 1994 - Norme tecniche in materia di livelli e di stati di attenzione e di allarme per gli inquinanti atmosferici nelle aree urbane.
- DM 25 novembre 1994 - Aggiornamento delle norme tecniche in materia di limiti di concentrazione e di livelli di allarme per gli inquinanti atmosferici nelle aree urbane e disposizioni per la misura di alcuni inquinanti.

- DM 16 maggio 1996 - Attivazione di un sistema di sorveglianza di inquinamento da ozono.
- LEGGE 4 novembre 1997 n. 413 - Misure urgenti per la prevenzione dell'inquinamento atmosferico da benzene.
- DM 21 aprile 1999 n. 163 - Regolamento recante norme per l'individuazione dei criteri ambientali e sanitari in base ai quali i sindaci adottano le misure di limitazione della circolazione.
- DIRETTIVA 96/62/CE - Valutazione e gestione della qualità dell'aria ambiente.
- D.Lgs. 4 agosto 1999 n. 351 - Attuazione della direttiva 96/62/ce in materia di valutazione e di gestione della qualità dell'aria ambiente
- DIRETTIVA 99/30/CE - Valori limite di qualità dell'aria ambiente per il biossido di zolfo, gli ossidi di azoto, le particelle e il piombo.
- DIRETTIVA 00/69/CE - Valori limite di qualità dell'aria ambiente per benzene ed il monossido di carbonio.
- DIRETTIVA 2002/03/CE - Valori limite di qualità dell'aria ambiente per l'ozono.
- DM 2 aprile 2002 n. 60 - Recepimento della direttiva 1999/30/CE del Consiglio del 22 aprile 1999 concernente i valori limite di qualità dell'aria ambiente per il biossido di zolfo, il biossido di azoto, gli ossidi di azoto, le particelle e il piombo e della direttiva 2000/69/CE relativa ai valori limite di qualità dell'aria ambiente per il benzene ed il monossido di carbonio.

Definizioni

INQUINAMENTO ATMOSFERICO: qualsiasi modificazione della normale composizione dell'aria tale da costituire pericolo per la salute dell'uomo

INQUINAMENTO DELL'ARIA NEGLI AMBIENTI CONFINATI: presenza nell'aria di ambienti confinati di contaminanti fisici, chimici e biologici non presenti naturalmente nell'aria esterna di sistemi ecologici aperti di elevata qualità

IMPIANTO: Stabilimento o impianto fisso che serva per usi industriali o di pubblica utilità e possa provocare inquinamento atmosferico

EMISSIONI: Qualsiasi sostanza solida, liquida o gassosa introdotta in atmosfera, proveniente da un impianto, che possa produrre inquinamento atmosferico

MONITORAGGIO AMBIENTALE: Misurazione continua e ripetuta degli agenti nell'ambiente per valutare l'esposizione e i rischi per la salute facendo un raffronto con appropriati valori di riferimento basati sulla conoscenza delle possibili relazioni fra l'esposizione ambientale e gli effetti dannosi.

METODOLOGIA

Parametri monitorati

Il monitoraggio ambientale effettuato da Italgas è stato volto alla misurazione delle concentrazioni di alcuni inquinanti presenti nell'area limitrofa al cantiere.

Date le caratteristiche del materiale (sostanze catramose derivanti dalla combustione del carbone) da rimuovere dalle vasche sono stati individuati come indicatori di riferimento per il monitoraggio ambientale gli IPA e i BTEX.

Tabella 11: **Caratteristiche degli inquinanti**

	<p>Gli IPA sono un gruppo di composti che si formano in seguito alla combustione incompleta di materiali organici contenenti carbonio. Gli IPA con un numero di anelli uguale o inferiore a quattro, in genere rimangono in forma gassosa quando vengono immessi nell'atmosfera. Non permangono però oltre le 24 ore nell'aria esterna perché di solito vengono degradati attraverso una sequenza di reazioni di radicali liberi innescata dall'aggiunta di un radicale OH a un doppio legame. Inoltre, a causa della loro bassa tensione di vapore, queste sostanze tendono rapidamente a condensarsi e a venire adsorbite alla superficie delle particelle di fuliggine e di cenere. Anche gli IPA con due e tre anelli aderiscono a tali particelle nel periodo invernale, dato che la loro tensione di vapore si riduce bruscamente con l'abbassarsi della temperatura. Poiché molte particelle di fuliggine hanno dimensioni tali da essere respirate, gli IPA possono penetrare nei polmoni direttamente mediante la respirazione.</p> <p>IPA Le concentrazioni elevate degli IPA riscontrate nell'aria di ambienti chiusi sono tipicamente dovute al fumo del tabacco e alla combustione del legno e del carbone.</p> <p>ESPOSIZIONE IN AMBIENTE: Gli IPA presenti nell'ambiente provengono da numerose fonti: principalmente dal traffico autoveicolare (dagli scarichi degli autoveicoli a benzina e diesel), dal catrame, dal fumo di sigaretta, dal fumo esalato dalla combustione del legno o del carbone e da altri processi di combustione in cui il carbonio del combustibile non viene completamente convertito in CO e CO₂; inoltre, in ambienti indoor, possono essere rilasciati dalla superficie di alimenti affumicati (carni in particolare) o cucinati alla griglia.</p> <p>Sebbene gli IPA rappresentino solo circa lo 0,1% del particolato atmosferico, la loro presenza come inquinanti dell'aria rimane comunque un potenziale rischio per la salute umana poiché molti di essi si rivelano cancerogeni, almeno secondo i risultati di numerosi test in vivo su animali.</p>
<p>Benzene</p>	<p>PROPRIETA CHIMICO-FISICHE: Liquido incolore, volatile, altamente infiammabile.</p> <p>FORMULA CHIMICA: C₆H₆.</p> <p>PESO MOLECOLARE 78,11 g mol⁻¹.</p> <p>TENSIONE DI VAPORE : 76 mmHg a 20 °C.</p> <p>ESPOSIZIONE IN AMBIENTE: Nell'aria dei centri urbani la sua presenza è dovuta quasi esclusivamente alle attività di origine umana, con oltre il 90% delle emissioni attribuibili alle produzioni legate al ciclo della benzina: raffinazione, distribuzione dei carburanti e soprattutto traffico veicolare, che da solo incide per circa l'80% sul totale.</p> <p>Il benzene viene prodotto su scala industriale principalmente attraverso processi di raffinazione del petrolio.</p> <p>In passato il benzene è stato ampiamente utilizzato come solvente in molteplici attività industriali e artigianali (produzione di gomma, plastica, inchiostri e vernici, nell'industria calzaturiera, nella stampa a rotocalco, nell'estrazione di oli e grassi, ecc.).</p> <p>La maggior parte del benzene oggi prodotto (85%) trova impiego nella chimica come materia prima per numerosi composti secondari, a loro volta utilizzati per produrre plastiche, resine, detergenti, pesticidi, intermedi per l'industria farmaceutica, vernici, collanti, inchiostri, adesivi e prodotti per la pulizia.</p> <p>Il benzene è inoltre contenuto nelle benzine in cui viene aggiunto, insieme ad altri composti aromatici, per conferire le volute proprietà antidetonanti e per aumentarne il "numero di ottano" in sostituzione totale (nella benzina verde) dei composti del Piombo. Come conseguenza circa l'80% delle emissioni di benzene sono legate alla combustione di benzina, risultando quindi direttamente riconducibili al traffico autoveicolare.</p> <p>Il benzene nell'aria di ambienti confinati non industriali dipende dalla sua concentrazione nell'aria esterna, dalla presenza di sorgenti di emissione interna, dalla ventilazione degli ambienti di vita.</p> <p>Per limitare le concentrazioni di benzene si dovrebbero aerare i locali nelle prime ore della mattina o nelle prime ore del pomeriggio. Nei periodi estivi, però, la ventilazione deve avvenire nelle primissime ore della mattina e nelle ore della notte, per evitare l'esposizione all'ozono.</p> <p>Tra le sorgenti interne il fumo di sigaretta rappresenta la causa di contaminazione più importante; le altre sorgenti sono costituite dai materiali di costruzione, arredi e finiture, dai prodotti utilizzati per la pulizia, dai sistemi di riscaldamento, dalle attività svolte dagli occupanti.</p>

Segue Tabella 11: **Caratteristiche degli inquinanti**

Toluene

PROPRIETÀ CHIMICO-FISICHE: Liquido incolore, infiammabile.
 FORMULA CHIMICA: $C_6H_5CH_3$.
 PESO MOLECOLARE: $92,15 \text{ g mol}^{-1}$
 TENSIONE DI VAPORE: 22 mmHg a $20 \text{ }^\circ\text{C}$.
 ESPOSIZIONE IN AMBIENTE: Il traffico veicolare è la principale sorgente di toluene in aria; seguono alcune tipologie di processi industriali che coinvolgono questo composto nel loro ciclo. La più alta concentrazione riscontrata in aria è indoor per l'uso di comuni prodotti per la casa (vernici, adesivi) e fumo di sigaretta. Si può andare incontro ad elevata esposizione in alcuni luoghi di lavoro, come stamperie e locali di produzione di vernici, dove il toluene è usato come solvente.

Xilene

PROPRIETÀ CHIMICO-FISICHE: Gli xileni in miscela sono un liquido incolore dall'odore dolce.
 FORMULA CHIMICA: C_8H_{10} .
 PESO MOLECOLARE: $106,16 \text{ g mol}^{-1}$.
 TENSIONE DI VAPORE: $6,72 \text{ mmHg}$ a $21 \text{ }^\circ\text{C}$.
 ESPOSIZIONE IN AMBIENTE: L'esposizione a xilene può avvenire attraverso ognuno dei tre isomeri o una miscela dei tre. L'emissione è principalmente da traffico veicolare. Xileni misti sono usati nella produzione di etilbenzene ed in numerosi solventi. In aria ambiente si hanno dati sulle concentrazioni relative agli Stati Uniti, dove si sono svolti i primi e più completi studi, ed i valori in città vanno da $0,003$ a $0,38 \text{ mg m}^{-3}$. In ambienti indoor le concentrazioni di m e p-xilene vanno da $0,010$ a $0,047 \text{ mg m}^{-3}$, e sono dovute soprattutto all'uso di prodotti tipo vernici.

Tutte le misure sono state effettuate all'interno del cantiere ITALGAS di Roma-San Paolo, durante lo svolgimento delle attività di cantiere, mediante l'impiego di campionatori ambientali posizionati sul tetto di uno degli edifici ITALGAS adiacenti al muro perimetrale di via del Commercio (Figura14).



Figura 14: Area utilizzata per il posizionamento della strumentazione di misura

Strumenti

Per il monitoraggio ambientale, è stata utilizzata la strumentazione seguente:

- **IPA:** campionatore TECORA mod. ECHOPM e Testa di prelievo EN LVS PM10 secondo la normativa EN 12341;
- **BTEX:** campionatore TECORA mod. BRAVO.

Metodiche di rilevamento

Gli IPA sono stati monitorati secondo le metodologie previste dal DM 25/11/94 all. VII:

- Campionamento per filtrazione su supporti filtranti in fibra di quarzo (diametro 47mm), mediante campionatore atmosferico con controllo di flusso elettronico e testa di prelievo conforme alla norma UNI EN 12341.
- Analisi - Il materiale raccolto viene sottoposto ad estrazione con cicloesano mediante ultrasuoni. L'estratto viene poi purificato mediante cromatografia su strato sottile (TLC) di gel di silice. L'identificazione ed il dosaggio degli IPA vengono effettuate mediante gascromatografia (GC) con colonna capillare e rivelatore a ionizzazione di fiamma. L'identificazione degli IPA viene confermata mediante gascromatografia-spettrometrica di massa su campioni selezionati.

I BTEX sono stati analizzati secondo il metodo previsto dal DM 2/4/02 n. 60 e dal DM 25/11/94 attraverso:

- Campionamento per adsorbimento su fiale in carbone attivo, mediante campionatore atmosferico con controllo di flusso.
- Analisi - Estrazione con solfuro di carbonio, e analisi gascromatografica con rivelatore FID.

RISULTATI

Per il monitoraggio ambientale del sito Italgas sono state eseguite 3 campagne di misura corrispondenti a diverse fasi di lavoro all'interno del cantiere distribuite così come di seguito riportato (Tabella 12).

Tabella 12: **Schema di sintesi dei monitoraggi ambientali**

CAMPAGNA	DATA	INQUINANTI MONITORATI	
		IPA	BTEX
1 - misura durante le attività di cantiere	6-7/7/05	X	X
2 - misura durante le attività di cantiere	4-5/8/05	X	X
3 - misura durante le attività di cantiere	29-30/9/05	X	X

In figura 15, 16 e 17 e in tabella 13 sono riportati i risultati per i singoli parametri monitorati.

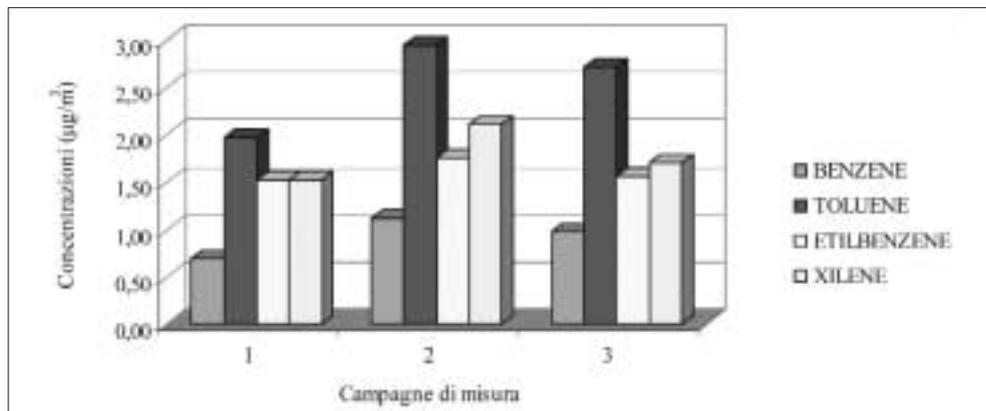


Figura 15: Concentrazione dei BTEX riscontrati nelle 3 campagne di monitoraggio ambientale

Tabella 13: Risultati ambientali

Data inizio	Data fine	Ora		Flusso impos. finale (L/min.)	Validità (1)	Vol. camp. (litri)	Dosaggio Benzene (µg)	Conc. Benzene (µg/m ³)	Dosaggio Toluene (µg)	Concentrazione Toluene (µg/m ³)	Dosaggio Etilbenzene (µg)	Concentrazione Etilbenzene (µg/m ³)	Dosaggio Xileni (µg)	Concentrazione Xileni (µg/m ³)	
		inizio	fine												
06/07/05	07/07/05	16.55	16.55	0,50	0,55	v	785	0,54	0,69	1,55	1,97	< 1,20	< 1,53	< 1,20	< 1,53
04/08/05	05/08/05	15.35	15.35	0,50	0,48	v	685	0,77	1,12	2,01	2,93	< 1,20	< 1,75	1,45	2,12
29/09/05	30/09/05	15.30	15.30	0,50	0,53	v	770	0,75	0,97	2,09	2,71	< 1,20	< 1,56	1,31	1,70

(1) v: campionamento valido - nv: campionamento non valido

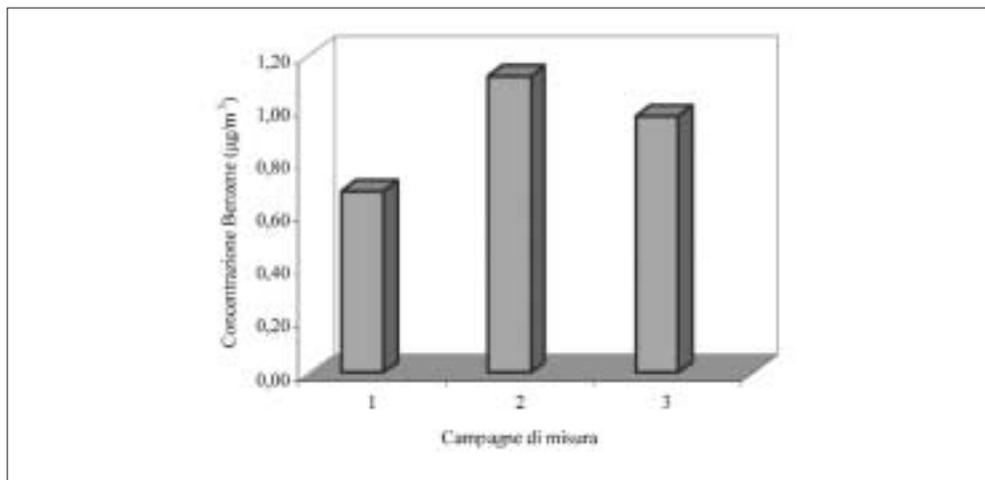


Figura16: Limiti legislativi e valori registrati per il benzene

Il DM n.60 del 2/04/2002 fissa come valore limite per la protezione della salute umana una concentrazione media annuale di $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, limite che dovrà essere rispettato a partire dal 1 gennaio 2010. Fino al 2005 era previsto un margine di tolleranza di $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ che alzava il valore di riferimento a $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$, mentre a partire dal 1/01/2006 tale valore è stato progressivamente ridotto fino raggiungere i $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ entro il primo gennaio 2010.

In considerazione di quanto detto e della data delle misure, il valore limite di riferimento relativamente al parametro Benzene è $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Per il Toluene, Etilbenzene e Xylene attualmente non sono ancora stati fissati dei limiti ma esistono dei valori guida a cui si fa riferimento.

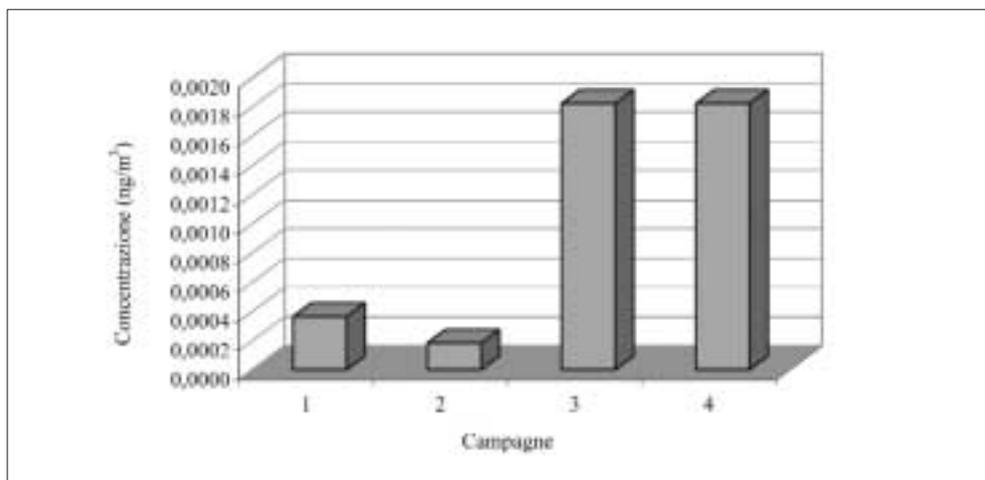


Figura 17: Concentrazione dei IPA riscontrati nelle 3 campagne di monitoraggio ambientale

Il DM del 25/11/1994 fissa come obiettivo di qualità per gli IPA il valore giornaliero medio annuale di 1 ng/mc in riferimento al benzo(a)pirene poiché è considerato con la tossicità più elevata e che anche se rinvenuto in concentrazioni modeste, è quello che contribuisce maggiormente alla tossicità totale. Il benzo(a)pirene viene quindi utilizzato come una misura surrogata ed il suo valore di concentrazione è preso come termine fondamentale di riferimento per valutare la qualità dell'aria.

Come per i BTEX, analizzati in precedenza, anche i valori di IPA misurati risultano molto al di sotto del livello fissato dalla normativa vigente.

CONCLUSIONI

Come si può evincere dai dati riportati nelle tabelle precedenti, tutti i livelli degli inquinanti monitorati durante le attività del cantiere (IPA e BTEX) sono risultati inferiori ai corrispondenti limiti normativi.

Pertanto, in riferimento alle misure effettuate e agli inquinanti monitorati, è possibile affermare che le modalità operative adottate per lo svolgimento delle attività del cantiere e le misure di tutela dell'ambiente adottate, sono state adeguate alla tipologia di attività da svolgere e che le lavorazioni effettuate non hanno determinato alcun incremento dei livelli di inquinamento atmosferico presenti nella zona.

PROGETTAZIONE DELL'INTERVENTO DI RIMOZIONE DEI RIFIUTI IN AMBIENTE CONFINATO

A. Festuccia

INTRODUZIONE

La società Italgas SpA ha iniziato nei primi mesi del 2000 le attività di riqualificazione ambientale dell'area denominata ex "Officina Gas" di sua proprietà, sede in passato di intensa attività industriale per la produzione del gas. Come descritto in precedenza, durante le fasi del processo di depurazione del gas si originavano composti di scarto (ammoniaca, naftalene, catrame, olio di antracene, acqua ammoniacale, metalli, solfuri e cianuri, calce idrata, pirite in polvere e ossidi di ferro), che venivano accumulati in alcune vasche di raccolta.

L'intervento di seguito illustrato ha avuto come obiettivo finale quello di rimuovere i rifiuti catramosi contenuti nelle tre vasche interrato presenti nel sito in modo sicuro e di mettere in sicurezza l'area circostante.

Oltre che sulla progettazione tecnica dell'intervento, l'attività è stata focalizzata sulla definizione e gestione delle misure di prevenzione e protezione sia per i lavoratori che per l'ambiente circostante, indispensabili per la corretta attuazione dell'intervento, quali il monitoraggio dell'esposizione dei lavoratori e delle componenti ambientali e in particolare dell'aria e dell'acqua, la realizzazione di condizioni di "depressione" all'interno dell'area confinata oggetto dell'intervento e la definizione di procedure di sicurezza e di adeguate misure di protezione individuali.

Inoltre, dato il contesto urbano in cui si inserisce il sito in dismissione, durante tutte le fasi di progettazione dell'intervento, e in base alla tipologia, alla tossicologia e alla quantità di rifiuti da rimuovere (rifiuti formati da sostanze di provato potere cancerogeno) sono state operate tutte quelle scelte progettuali e tecniche che, oltre a salvaguardare la sicurezza degli operatori impegnati nella rimozione, producessero il minor impatto possibile per l'ambiente e la popolazione residente nelle zone limitrofe.

Lo sviluppo progettuale dell'intervento di rimozione e smaltimento dei rifiuti catramosi contenuti all'interno delle tre vasche interrato presenti nel sito Italgas di Roma San Paolo è di seguito illustrato in tutte le fasi di progettazione dell'intervento, dall'analisi preliminare del sito alla stesura del progetto definitivo di intervento. Italgas ha fornito le indicazioni in merito ai requisiti da soddisfare e agli obiettivi da raggiungere, mirando alla minimizzazione degli impatti prodotti dall'intervento e alla massima tutela dell'ambiente in generale, degli addetti ai lavori e di tutti gli altri attori coinvolti.

DEFINIZIONE DEGLI OBIETTIVI DI INTERVENTO

Una corretta attività di progettazione non può prescindere dalla individuazione e dall'analisi degli obiettivi specifici che si vogliono raggiungere con l'intervento. Pertanto il punto di partenza dell'attività di progettazione è stata l'individuazione di tutti i requisiti di qualità del pro-

getto al fine di poter pianificare gli interventi nella maniera migliore possibile ed in particolare aumentare il grado di confidenza in relazione agli obiettivi specifici per l'intervento da effettuarsi sulle vasche interrato. Tali obiettivi sono stati sviluppati in linea con gli obiettivi di riqualificazione ambientale dell'intero sito stabiliti da Italgas.

REQUISITI DEL CAPITOLATO DI GARA

Italgas ha formalizzato i requisiti da adottare in fase di progettazione e di realizzazione nel Capitolato di gara, documento fondamentale per l'avvio delle attività, in cui sono stati definiti l'oggetto dell'appalto e la descrizione delle attività necessarie per lo svuotamento delle vasche interrato, la loro bonifica, lo smaltimento dei rifiuti catramosi in esse contenuti e per definire le valutazioni economiche inerenti l'esecuzione di tali attività.

Il Capitolato riporta nella prima parte, le prescrizioni di carattere generale in cui si descrivono le aree di intervento e le attività che devono essere realizzate, mentre nella seconda parte sono definite le condizioni tecniche relative alle attrezzature da utilizzare, alle autorizzazioni di cui deve essere in possesso la ditta esecutrice dei lavori e le prescrizioni di carattere tecnico da attuare per l'intervento.

Inoltre per la definizione degli obiettivi specifici oltre ai requisiti del capitolato di gara, sono stati presi in considerazione altri requisiti aggiuntivi di natura ambientale, di sicurezza sul lavoro e igienico-occupazionale.

La necessità era di progettare un intervento che, oltre al rispetto di esigenze di natura squisitamente tecnica, adottasse come criterio principale di decisione la sostenibilità dell'intervento in termini di:

tutela dell'ambiente in tutte le sue componenti quali aria, acqua e suolo che sono risultate le componenti maggiormente vulnerabili;

rispetto della qualità dell'ambiente urbano;

particolare attenzione alle problematiche connesse con la salute e la sicurezza sul lavoro;

scelte progettuali legate ad un processo di analisi costi-benefici;

attenzione ai possibili coinvolgimenti di tutte le parti interessate all'intervento quali gli organismi di controllo, le rappresentanze dei cittadini, associazioni ambientaliste,

L'analisi dei requisiti ha permesso di definire chiaramente gli obiettivi da raggiungere e, già in questa fase preliminare, di avanzare alcune ipotesi progettuali che rispondessero a tali requisiti. Inoltre, è stato possibile definire il contesto socio-ambientale generale in cui si inserisce l'intervento e di conseguenza, le possibili misure di mitigazione e minimizzazione degli impatti prodotti.

ANALISI PRELIMINARE DEL SITO

DESCRIZIONE DELL'AREA DI INTERVENTO

L'area denominata ex "Officina Gas" è un sito industriale, dismesso intorno agli anni '60, dove veniva prodotto il "gas di città" dal trattamento pirolitico del carbone.



Figura 18: Immagine satellitare del sito Italgas di Roma-San Paolo

Le vasche interrato oggetto dell'intervento, venivano utilizzate come deposito dei residui catramosi derivanti dalla combustione del carbone; tali residui si separavano dal gas prodotto durante la fase di raffreddamento e decatramazione e venivano poi convogliati e stoccati nelle vasche di accumulo.

In particolare, dall'esame delle tavole di progetto dell'area industriale, presenti presso l'archivio Italgas è stato possibile determinare che le tre vasche interrato sono situate al di sotto del piano campagna a circa due metri di profondità. Una di queste si trova sotto un piccolo edificio di architettura razionalista costruita negli anni '30 denominata "torretta sindacale".



Figura 19: Torretta sindacale

Dalle tavole ritrovate presso l'archivio Italgas è emerso che le vasche presentano le seguenti caratteristiche:

- due vasche interrato di dimensioni 7.5m x 30m, di altezza 5m. La vasca definita come "vasca lato Sud" è adiacente alla cosiddetta "Palazzina ex Tosi", mentre la vasca denominata "vasca lato Nord" si trova in prossimità dell'ex edificio Gasogeni "Viag";
- una vasca interrato di dimensione 5.5m x 8m di altezza 5m posta tra le due precedenti.

ANALISI DI CARATTERIZZAZIONE EFFETTUATE

Per il risanamento ambientale del sito, l'Italgas ha adottato l'iter procedurale di caratterizzazione ambientale previsto dal DM 471/99, pertanto risultavano già effettuate una serie di indagini volte alla caratterizzazione geologica e chimico-fisica dell'area.

Per la caratterizzazione geologica del sito, Italgas ha effettuato una serie di analisi indirette e dirette del suolo attraverso la realizzazione di profili georadar e geoelettrici e l'esecuzione di piezometri, carotaggi e prove di permeabilità dei terreni.

Dai dati raccolti relativi a questa caratterizzazione è stato possibile ricavare quanto descritto di seguito.

Le indagini indirette si sono articolate in una campagna di indagini georadar, geoelettriche ed indagini sismiche a rifrazione allo scopo di definire la stratigrafia del sito e per effettuare una mappatura delle strutture antropiche presenti nel sottosuolo e di eventuali aree soggette a contaminazione da parte di residui delle lavorazioni industriali. Tali indagini hanno permesso di individuare un primo strato dello spessore di circa 2 metri costituito da terreno di riporto seguito da un livello di limo argilloso di spessore variabile con una permeabilità generalmente medio-elevata dei terreni. Il livello di falda è stato individuato tra gli 8 ed i 9 metri di profondità. Per quanto riguarda le strutture antropiche sepolte (fondazioni degli edifici, vasche interrate, tubazioni e condotte) queste si ritrovano fino a un livello di -9 metri dal piano campagna. Le indagini georadar e le indagini sismiche hanno confermato le considerazioni effettuate in seguito alle indagini geoelettriche.

Le indagini di caratterizzazione chimico-fisica eseguite su acqua e suolo sono state volte alla valutazione del loro possibile inquinamento, in particolare dai sondaggi e dai piezometri realizzati sono stati prelevati dei campioni di suolo e di acqua che non hanno mostrato presenza di inquinamenti.

Prima campagna di indagine

Sulla base dell'analisi della documentazione relativa alle indagini indirette già condotte per la caratterizzazione delle aree oggetto dell'intervento e con riferimento alle evidenze riscontrate nel corso del sopralluogo effettuato presso il sito, si è ritenuto opportuno condurre una prima campagna di campionamento ed analisi volta ad indagare la natura del riporto presente al di sopra delle vasche da bonificare e del terreno nell'intorno delle stesse per determinarne la tipologia di materiale.

A tale scopo sono stati realizzati 6 sondaggi (T1÷T6), in data 5 luglio 2002, all'interno dello strato di copertura delle vasche.

Tabella 13: Sondaggi

SIGLA CAMPIONE	PROFONDITÀ SONDAGGIO (m)	PROFONDITÀ CAMPIONAMENTO (m)
T1	1,8	1,8
T2	1,7	1,7
T3	1,8	1,8
T4	1,8	1,8
T5	1	1
T6	1,8	1,8



Figura 20: Attrezzatura utilizzata per l'esecuzione dei carotaggi

Le analisi sui campioni prelevati sono state volte a determinare la presenza delle sostanze elencate nella tabella seguente in cui sono stati riportati, oltre ai valori di concentrazione rilevati, i relativi limiti di riferimento riportati nell'Allegato 1, colonna B della Tabella 1 del DM 471/99 per i terreni dei siti ad uso commerciale ed industriale.

Tabella 14: Risultati delle analisi effettuate sui campioni di terreno

ANALISI DEI TERRENI ITALGAS – ROMA SAN PAOLO								
IDROCARBURI POLICICLICI AROMATICI	UM	T1	T2	T3	T4	T5	T6	Limiti legislativi
NAFTALENE	mg/kg(su s.s.)	0,08	0,22	< 0,02	0,09	< 0,02	< 0,02	-
ACENAFTILENE	mg/kg(su s.s.)	0,12	0,34	< 0,02	0,16	< 0,02	< 0,02	-
ACENAFTENE	mg/kg(su s.s.)	0,02	0,03	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	-
FLUORENE	mg/kg(su s.s.)	0,02	0,04	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	-
FENANTRENE	mg/kg(su s.s.)	0,2	0,98	0,03	0,38	< 0,02	< 0,02	-
ANTRACENE	mg/kg(su s.s.)	0,12	0,92	0,03	0,27	< 0,02	< 0,02	-
FLUORANTENE	mg/kg(su s.s.)	0,37	4,88	0,17	1,94	< 0,02	< 0,02	-
PIRENE	mg/kg(su s.s.)	0,37	4,2	0,16	1,58	< 0,02	< 0,02	-
BENZO (a) ANTRACENE	mg/kg(su s.s.)	0,11	0,92	< 0,02	0,38	< 0,02	< 0,02	10
CRISENE	mg/kg(su s.s.)	0,08	0,58	0,02	0,19	< 0,02	< 0,02	50
BENZO (b) FLUORANTENE	mg/kg(su s.s.)	0,71	1,42	0,17	2,2	< 0,02	< 0,02	10
BENZO (k) FLUORANTENE	mg/kg(su s.s.)	0,08	1,12	< 0,02	0,23	< 0,02	< 0,02	10
BENZO (j) FLUORANTENE	mg/kg(su s.s.)	0,06	0,69	< 0,02	0,36	< 0,02	< 0,02	-
BENZO (e) PIRENE	mg/kg(su s.s.)	0,31	2,51	0,12	0,86	< 0,02	< 0,02	-
BENZO (a) PIRENE	mg/kg(su s.s.)	0,53	4,23	0,12	1,4	< 0,02	< 0,02	10
INDENO (1,2,3-cd) PIRENE	mg/kg(su s.s.)	0,73	4,38	0,26	2,58	< 0,02	< 0,02	-
DIBENZO (a,h) ANTRACENE	mg/kg(su s.s.)	0,14	1,15	0,03	0,32	< 0,02	< 0,02	10
BENZO (g,h,i) PERILENE	mg/kg(su s.s.)	0,28	1,96	0,12	0,64	< 0,02	< 0,02	10
DIBENZO (a,l) PIRENE	mg/kg(su s.s.)	0,12	0,19	< 0,02	0,08	< 0,02	< 0,02	-
DIBENZO (a,e) PIRENE	mg/kg(su s.s.)	0,07	0,16	< 0,02	0,07	< 0,02	< 0,02	-
DIBENZO (a,h) PIRENE	mg/kg(su s.s.)	0,02	0,13	< 0,02	0,03	< 0,02	< 0,02	-
FENOLI NON CLORURATI								-
METILFENOLO (o-, m-, p-)	mg/kg(su s.s.)	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	25
FENOLO	mg/kg(su s.s.)	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	60
FENOLI CLORURATI								-
2-CLOROFENOLO	mg/kg(su s.s.)	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	25
2,4-DICLOROFENOLO	mg/kg(su s.s.)	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	50
2,4,6-TRICLOROFENOLO	mg/kg(su s.s.)	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	5
PENTACLOROFENOLO	mg/kg(su s.s.)	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	5
IDROCARBURI < C12	mg/kg(su s.s.)	105	10	< 5	10	< 5	< 5	250
IDROCARBURI > C12	mg/kg(su s.s.)	500	650	10	35	10	< 5	750

In base ai risultati delle analisi di caratterizzazione effettuate, il terreno posto a ricoprimento delle vasche è risultato non inquinato e pertanto non è stato ritenuto necessario intraprendere interventi di bonifica su tale terreno.

Nel corso della prima campagna di indagine, inoltre è stata realizzata l'analisi delle strutture di fondazione della torretta per valutare eventuali rapporti tra le fondamenta della stessa e la soletta di copertura delle vasche, in particolare la parte semicircolare risulta sovrapposta ad una delle vasche. A tal fine è stato realizzato uno scavo che, dopo la rimozione dello strato di riempimento dello spessore di circa 1,80 m, ha evidenziato che la soletta di copertura della vasca sottostante era stata a suo tempo demolita per realizzare la fondazione dei pilastri della torretta. Infatti, i pilastri della torretta sono risultati passanti all'interno della vasca e, al momento della campagna di indagine, risultavano immersi nell'acqua e nel sottostante strato catramoso. Pertanto è ipotizzabile che lo spiccato dei pilastri sia stato realizzato all'epoca della costruzione della torretta dalla pavimentazione della vasca esistente.

Durante questa prima campagna di indagine è stato realizzato, inoltre, l'intervento di svuotamento dell'acqua dei locali posti al piano interrato della torretta che al momento dell'indagine preliminare risultavano allagati da un livello di acqua di circa 1,00 metro.

Seconda campagna di indagine

La prima campagna di campionamento e analisi per la caratterizzazione del terreno è stata integrata da una seconda campagna di indagine per la caratterizzazione del materiale contenuto all'interno delle vasche. La campagna è stata svolta nei giorni 29 e 30 luglio 2002.

In tale circostanza sono stati prelevati 9 campioni di materiale all'interno delle vasche, 5 superficiali, volti alla caratterizzazione delle acque presenti, e 4 campioni in profondità per specificare la natura dei residui catramosi.

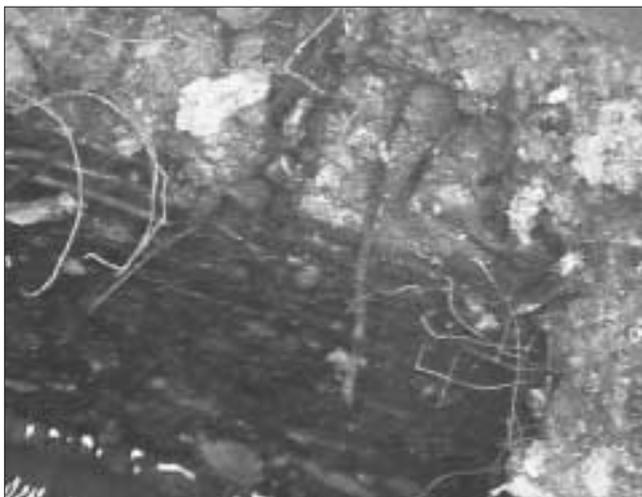


Figura 21: Particolare della soletta di copertura delle vasche.

Le analisi sui campioni prelevati dalle vasche sono state volte alla ricerca e quantificazione dei composti riportati nella tabella 15 seguente.

Tabella 15: Risultati delle analisi effettuate sui campioni di suolo e acqua

CAMPIONE												
SUOLO						ACQUA						
		olio combustibile Umido	(acqua + 1% solido)	nella miscela acqua catrame + fondo	nella miscela acqua + sedimento							
n° progr.	UM	1	2	3	4	n° progr.	UM	1	2	3	4	5
Peso specifico		1,22	1	mix	mix	Peso specifico		1	1	1	1	1
Punto infiamm.		220°C	ND	ND	ND	Punto infiamm.		NP	NP	NP	NP	NP
Residuo a 105°C	%	72,30	15,00	18,90	12,30	Residuo a 105°C		NP	NP	NP	NP	NP
Residuo a 600°C	%	9,60	0,60	14,60	10,00	Residuo a 600°C		NP	NP	NP	NP	NP
Arsenico	mg/Kg	0,04	0,01	0,02	0,01	Arsenico	mg/l	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Mercurio	mg/Kg	0,03	0,05	0,03	0,00	Mercurio	mg/l	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002
Selenio	mg/Kg	0,03	0,01	0,01	<0,001	Selenio	mg/l	<0,001	<0,001	<0,001	0,004	<0,001
Cromo (VI)	mg/Kg	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	Cromo (VI)	mg/l	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Cadmio	mg/Kg	0,02	0,02	0,01	<0,001	Cadmio	mg/l	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Nichel	mg/Kg	0,70	0,62	0,72	0,09	Nichel	mg/l	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Piombo	mg/Kg	5,32	2,93	2,50	0,04	Piombo	mg/l	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Rame mg/Kg	2,0	0,5	1,2	0,1	Rame	mg/l	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	
Vanadio	mg/Kg	1,52	0,45	0,93	0,20	Vanadio	mg/l	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
HC tot.	mg/Kg	78	< 20	1127	182	HC tot.	mg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
Benzene	mg/Kg	2,1	<0,1	3,2	<0,1	Benzene	mg/l	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1

Analisi di caratterizzazione dei catrami

Terminata la fase di caratterizzazione ambientale del sito si è passati alla fase di caratterizzazione in laboratorio dei residui catramosi contenuti nelle vasche interrate allo scopo di individuare le modalità operative applicabili e i rischi connessi alla gestione degli stessi. In particolare, è stato messo a punto un programma di indagine sui catrami volto a:

- caratterizzare i catrami;
- valutare la lavorabilità dei catrami tal quali alle diverse temperature;
- determinare i VOC (Composti Organici Volatili) riscontrati alle diverse temperature in aria;
- valutare le caratteristiche reologiche e di adesività dei catrami additivati;
- valutare la lavorabilità dei catrami additivati;
- determinare i VOC riscontrati alle diverse temperature in aria sui catrami additivati.

Le analisi di caratterizzazione svolte hanno permesso di attribuire i residui catramosi presenti nelle vasche alla categoria rifiuti pericolosi identificati dal codice CER 05 06 01* "catrami acidi".

La viscosità dei catrami è risultata tale da rendere impossibile sia la pompabilità che la palabilità degli stessi a temperatura ambiente; le prove effettuate a temperature superiori hanno evidenziato inoltre un aumento dei VOC totali, in particolare benzene e naftalene.

Il miglioramento delle caratteristiche reologiche dei catrami è stato ottenuto mediante l'additivazione di segatura di legno con granulometria 1-3 mm in concentrazione del 5% sulla massa totale. L'aggiunta di segatura inoltre ha evidenziato anche altri aspetti positivi quali l'assorbimento degli olii a basso peso molecolare presenti e quindi anche dei composti odoriferi.

L'additivazione dei catrami con filler inorganici quali cementi e bicarbonato ha invece evidenziato l'impossibilità di utilizzo di tali materiali in quanto favoriscono lo sviluppo di ammoniaca (NH₃).

Videoispezione

Nell'agosto 2002 è stata condotta un'analisi videoispettiva all'interno delle vasche interrate, la quale ha permesso di prendere visione dell'effettiva situazione di riempimento delle stesse nonché dello stato delle strutture interne.

Le vasche sono risultate essere costituite da pareti realizzate in mattoni pieni e coperte da una soletta in cemento armato sostenuta da travi in cemento armato poggianti su una doppia fila di pilastri in muratura di sezione quadrata con lato pari a circa 45 cm. La distribuzione dei pilastri all'interno delle vasche individua una maglia regolare con interasse pari a circa 2.50 m lungo il lato corto delle vasche e pari a circa 3.00 m lungo il lato lungo delle vasche.

Sia la muratura delle pareti delle vasche che i pilastri sono apparse in buono stato di conservazione e sono risultate essere stati realizzati a regola d'arte.



Figura 22: Attrezzatura utilizzata per la videoispezione

All'interno delle vasche sono state individuate delle masse di detriti, accumulate nel corso degli anni ed immesse nelle vasche attraverso passi d'uomo alcuni dei quali, ad oggi sono risultati completamente intasati di detriti.



Figure 23 e 24: Vista interno delle vasche

In particolare, la vasca lato sud è apparsa parzialmente riempita di detriti, ma si è comunque riscontrata la presenza di una fase liquida al di sotto del passo d'uomo esistente. La vasca lato nord è risultata invece prevalentemente piena, fino all'altezza di circa 4.00 m dal fondo, di una fase liquida mista a detriti. Inoltre, sono visibili alcuni cumuli di detriti a ridosso dei lati corti, due in prossimità della parete lato Tevere ed uno in prossimità della parete opposta.

Per quanto riguarda la vasca di dimensioni minori non è stato possibile ispezionarne visivamente l'interno poiché il passo d'uomo è risultato completamente ostruito. Inoltre il foro eseguito per effettuare i prelievi dei liquidi presenti all'interno della vasca risultava inagibile alla telecamera a seguito di smottamenti continui del terreno di ricoprimento della vasca stessa.

Acquisizione di ulteriori dati

Durante il successivo sviluppo delle attività progettuali è stato inoltre possibile rintracciare tra la documentazione presente presso l'archivio Italgas S.p.A., alcuni elaborati progettuali relativi all'edificio "Torretta Sindacale".

Tali elaborati hanno confermato quanto già ipotizzato in merito alla soluzione fondale dell'edificio stesso, evidenziando come la struttura di fondazione dell'emiciclo della torretta fosse stata già progettata sopra l'estradosso del fondo della vasca sottostante.

Risultati analisi

A conclusione delle indagini è stato possibile stabilire le caratteristiche principali dell'area e definire le possibili modalità di intervento che hanno consentito di ridurre i rischi per la salute dei lavoratori e dell'ambiente.

In base alle conoscenze acquisite è stato possibile mettere a punto un progetto, descritto di seguito in maniera dettagliata e che può essere riassunto nelle seguenti fasi:

- allestimento del cantiere;
- allestimento della struttura di confinamento;
- apertura della soletta di copertura delle vasche;
- svuotamento delle vasche;
- pulizia del fondo e delle pareti delle vasche;
- chiusura delle vasche;
- smontaggio struttura di confinamento;
- chiusura cantiere.

L'intervento così strutturato ha permesso un miglior controllo degli impatti provocati dalle lavorazioni attraverso il confinamento dell'area di intervento e, dal punto di vista della sicurezza, una maggiore garanzia di tutela degli operatori attraverso l'adozione di procedure e tecniche di lavorazione mirate.

PROGETTO DEFINITIVO DI INTERVENTO

Il progetto definitivo dell'intervento di bonifica è stato sviluppato e implementato basandosi su alcuni punti fondamentali che possono essere riassunti nel modo seguente:

- *migliore realizzazione tecnica*
- *minimizzazione degli impatti ambientali* quali emissioni in atmosfera, rumore e rifiuti, attraverso la definizione di adeguate soluzioni progettuali e procedure di controllo che hanno permesso di monitorare tali aspetti critici;
- *gestione della sicurezza in cantiere* attraverso la valutazione dei possibili rischi connessi all'esecuzione dei lavori, l'individuazione delle misure di sicurezza vigenti (segnaletica, dispositivi di protezione individuale da utilizzare, attrezzature) e delle modalità operative di intervento atte a diminuire i rischi per gli operatori definendo inoltre la natura e l'estensione dei controlli da eseguire;

L'INTERVENTO DEL SERVIZIO PRE.S.A.L. E DELLA CONTARP DELL'INAIL

VALUTAZIONE DEI RISCHI E DELLE MISURE DI PREVENZIONE E PROTEZIONE E DEI LIVELLI DI ESPOSIZIONE AD INQUINANTI

M.I. Barra, F. D'Orsi, D. De Grandis, R. Narda, G. Novembre, E. Pietrantonio, M. Pignani, F. Scarlini, P.S. Soldati, U. Verdel

PREMESSA

La bonifica del sito industriale Italgas di Roma, San Paolo costituiva un lavoro complesso che esponeva i lavoratori a rischi rilevanti sia dal punto di vista della sicurezza (lavoro in galleria, formazione di atmosfere potenzialmente esplosive) che da quello dell'igiene del lavoro (esposizione ad agenti chimici pericolosi e cancerogeni). Per tale motivo il Servizio Pre.S.A.L. della ASL RMC in collaborazione con la CONTARP, Consulenza Tecnica Accertamento Rischi e Prevenzione dell'INAIL ha ritenuto opportuno seguirlo in tutte le fasi operative fin dalla sua progettazione. Il metodo seguito è stato di tipo iterativo. In primo luogo sono state analizzate le scelte tecniche proposte dalla committenza e dalla ditta appaltatrice analizzando i POS (piani operativi di sicurezza) e il PSC (piano di sicurezza e coordinamento) e il piano di caratterizzazione del sito in fase di progettazione dell'opera, successivamente sono state analizzate le caratteristiche chimico-fisiche e tossicologiche dei catrami e progettate prove mirate alla tipizzazione della componente volatile presente nell'atmosfera di lavoro. Dall'analisi delle risultanze ottenute sui materiali in massa e sulla frazione volatile sono state valutate le misure di prevenzione e protezione da attuare e la loro efficacia. Infine sono stati effettuati, con l'ausilio della CONTARP dell'INAIL, dei monitoraggi ambientali e personali degli inquinanti aerodispersi per valutare le esposizioni professionali ad agenti chimici pericolosi e cancerogeni. I dati ottenuti da tutte le misure effettuate sono stati utilizzati per valutare correttamente le misure di prevenzione e protezione dei lavoratori e la scelta e la definizione delle procedure operative in funzione dei dati raccolti.

SVILUPPO DELL'OPERA DI BONIFICA

Come già descritto nell'area denominata di seguito come R1 sono state ritrovate delle vasche interrato contenenti catrami di origine industriale. Le vasche ritrovate nel corso del 2004-2005 sono state quattro, tre di dimensioni maggiori site nell'area indicata come R1 e una di dimensioni minori ritrovata sul perimetro di R1. Successivamente dopo la loro bonifica sono state ritrovate altre quattro vaschette comunicanti (indicate con il colore blu nell'area confinata di colore viola in planimetria) site fuori dell'area R1 e adiacenti ad essa. Per poter mandare avanti il processo legato al piano di caratterizzazione è stato necessario bonificare le vasche, rimuovere i catrami in esse contenuti, conferirli a smaltimento e restituire le vasche pulite al sito. In realtà inizialmente era nota unicamente la presenza di tre vasche denominate come vasca lato sud, vasca lato nord e vasca centrale e in corso d'opera è stata trovata sul perimetro dell'area R1 una vasca più piccola. Il metodo utilizzato per la bonifica di tutte le vasche prevedeva di asportare la terra soprastante le vasche e di operare in area confinata per demolire la struttura di copertura, prelevare le matrici catramose e ripulire le vasche. E' stata effettuata una progettazione dell'opera nel Piano di Sicurezza e Coordinamento e nel Piano Operativo di Sicurezza

della ditta appaltatrice. Il Servizio Pre.S.A.L. della ASL RMC ha analizzato tutta la documentazione tecnica in fase di progettazione e in fase esecutiva seguendo tutti gli sviluppi dell'opera e le soluzioni trovate a difesa della salute e sicurezza dei lavoratori. Sono stati effettuati numerosi sopralluoghi ispettivi e campionamenti per il monitoraggio degli inquinanti aerodispersi nell'ambiente di lavoro e per la verifica delle misure di prevenzione e protezione messe in atto. Inoltre sono stati analizzati i risultati analitici sui materiali da rimuovere sui monitoraggi ambientali e tutte le relazioni tecniche degli impianti di abbattimento vapori nonché i libretti tecnici delle macchine. Di seguito riportiamo le varie fasi dell'opera, i problemi riscontrati in fase di progettazione ed esecuzione e le soluzioni tecniche adottate dalla ditta appaltatrice. Le scelte esecutive sono il risultato di un lavoro complesso in cui tutti i soggetti della prevenzione (organo di vigilanza, ditta appaltatrice, committenza e coordinatore della sicurezza) hanno operato in un'unica direzione volta alla prevenzione dei rischi e della salute e sicurezza dei lavoratori. La tipologia delle lavorazioni non consentiva a priori di definire in modo univoco le procedure operative, ma è stato necessario metterle a punto via via, in funzione delle criticità emerse in ogni fase dell'opera, seguendo un processo di miglioramento continuo tipico dei sistemi di gestione della qualità.

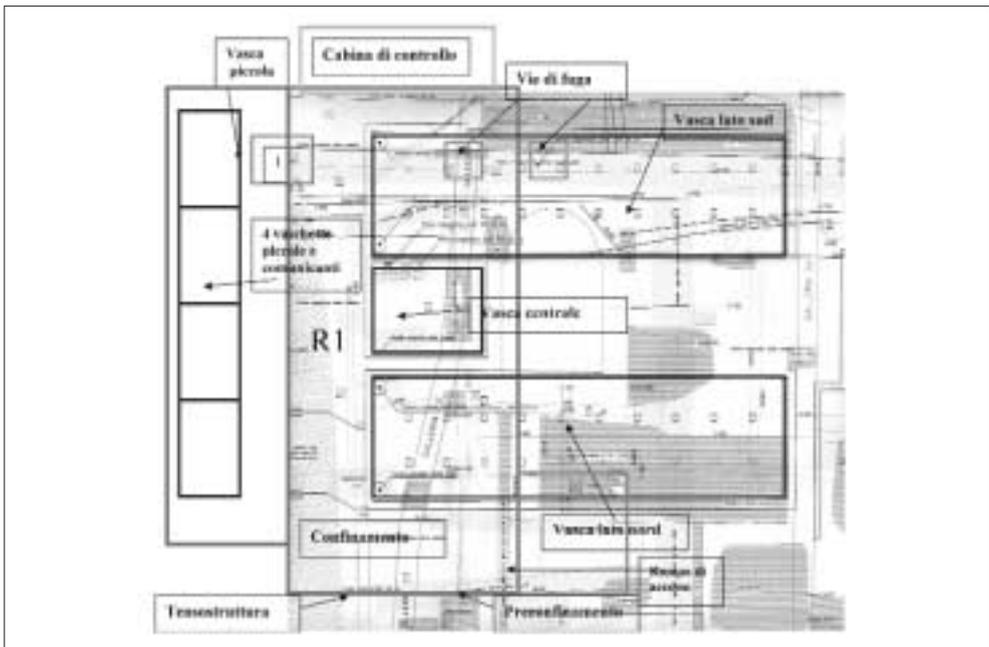


Figura 1: Rappresentazione planimetrica dell'area in cui è avvenuta la bonifica

Prima di effettuare la bonifica la ditta appaltatrice ha ritenuto necessario realizzare un confinamento statico e dinamico costruendo una tensostruttura su un basamento in cemento. L'area in cui è stato realizzato il capannone sostenuto dalla tensostruttura ricopriva solo una porzione delle vasche come è possibile osservare dalla planimetria del sito (zona di colore rosso).

ATTIVITÀ SVOLTE DAL SERVIZIO PRE.S.A.L.

La complessità del tipo di bonifica ha richiesto un lavoro di approfondimento e di analisi di tutte le fasi dell'intervento operando una vigilanza sull'intera opera e un'assistenza continua della ditta che ha effettuato la rimozione, assicurando la presenza costante sul cantiere nelle fasi più critiche. Inoltre è stata fornita un'assistenza agli altri Servizi ed articolazioni aziendali (Servizio Igiene e Sanità Pubblica, Ospedale CTO Andrea Alesini) trasferendo le informazioni di competenza, allo scopo di ottenere un intervento coordinato e integrato.

Progettazione dell'opera:

Durante la progettazione dell'opera di bonifica sono stati acquisiti il Piano di Sicurezza e Coordinamento, il Piano di Caratterizzazione del sito e il Piano Operativo di Sicurezza della ditta per poter valutare attentamente le modalità dell'intervento, le fasi di lavoro già individuate e le misure di prevenzione e protezione da adottare a difesa dei lavoratori. In realtà in questa fase persistevano molte incertezze circa le caratteristiche dei catrami, in quanto i materiali presenti nelle tre vasche site in area R1, pur avendo la stessa origine, non si presentavano con lo stesso grado di purezza (in alcuni casi prevaleva la frazione organica come nella vasca centrale e lato nord mentre in altri erano mescolati a terra come nella vasca lato sud). Inoltre la modalità di intervento scelta dalla ditta appaltatrice (per ridurre l'impatto ambientale e i costi) prevedendo un confinamento di parte della superficie delle vasche e l'accesso ad esse attraverso delle aperture, costringeva i lavoratori a lavorare per buona parte dell'intervento di rimozione dei catrami in ambiente di galleria, aumentando fortemente i rischi di esposizione ad agenti chimici pericolosi e di formazione di atmosfere esplosive nonché i rischi per la sicurezza legati anche alla stabilità della struttura e alla gestione delle emergenze. L'origine dei catrami (classificati come cancerogeni al 22° Adeguamento al Progresso Tecnico) esponeva i lavoratori ad un rischio elevato, ma di cui era necessario approfondire la natura e i livelli degli inquinanti per poter definire correttamente le misure specifiche di prevenzione e protezione da adottare. Sono state quindi progettate delle misure mirate alla caratterizzazione chimico-fisica dei catrami e della frazione volatile. Sono state messe a punto misure di laboratorio volte alla definizione della composizione della frazione volatile allo scopo di meglio definire il rischio di esposizione ad agenti chimici pericolosi e cancerogeni e di poter mettere a punto le misure di prevenzione e protezione proposte dalla ditta e dal coordinatore in fase di progettazione (verifica del corretto dimensionamento dell'impianto di aspirazione e valutazione dell'idoneità dei DPI e dei tempi di durata dei filtri a carbone attivo) e i campionamenti (qualitativi e quantitativi). La caratterizzazione della frazione volatile ha consentito di valutare correttamente il rischio da agenti chimici pericolosi e cancerogeni, di scegliere correttamente le procedure operative per la bonifica, di selezionare gli idonei DPI, di valutare il rischio da atmosfere esplosive e le misure di prevenzione e protezione specifiche da adottare e la gestione delle emergenze (dotazione dei lavoratori di esplosimetri, strumenti per la determinazione di CO, NH₃, SOV, O₂, %LEL), inoltre i dati ottenuti sono stati utilizzati per la gestione successiva del rifiuto. Le informazioni ottenute sono risultate preziose per analizzare le caratteristiche dell'impianto di abbattimento dei vapori e le modalità di ricambio aria all'interno delle vasche attraverso l'esame della relazione tecnica dell'impianto realizzata da professionista abilitato. Già in fase progettuale sono state valutate le caratteristiche delle macchine che dovevano essere utilizzate in un ambiente così ostile (in particolare quelle alimentate da motori a combustione erano provviste di sistemi di captazione dei fumi, attraverso tubazioni che li convogliavano fuori dell'area di lavoro, mentre quelle che operavano in ambienti a rischio di atmosfere esplosive erano dotate di caratteristiche adeguate).

Esecuzione dell'opera

La fase esecutiva è stata seguita costantemente dal Servizio Pre.S.A.L nelle lavorazioni considerate più critiche attraverso sopralluoghi e campionamenti mirati a valutare l'efficacia delle misure di prevenzione e protezione attuate. La bonifica è stata caratterizzata da un primo momento di sperimentazione in cui il ritrovamento di una vasca di catrame di piccole dimensioni (vasca piccola) ha consentito la messa a punto delle procedure di lavoro e la ridefinizione delle misure di prevenzione e protezione a difesa dei lavoratori e l'aggiornamento del POS e del PSC. Infatti durante la rimozione dei catrami contenuti in questa vasca è stato possibile effettuare una prima verifica dei livelli di esposizione ad agenti chimici pericolosi e mettere a punto le procedure di lavoro sperimentando quanto progettato. In particolare dai campionamenti effettuati durante tale lavorazione si è pervenuti alla definizione effettiva degli inquinanti di maggiore interesse per la salute e la sicurezza dei lavoratori, alla stima dei livelli di esposizione, alla valutazione dell'efficacia del confinamento e dei tempi di sostituzione dei filtri dei DPI e alla messa a punto delle modalità dell'intervento nelle tre vasche presenti in area R1 e delle misure di prevenzione e protezione dei lavoratori. In seguito si è proceduto alla bonifica delle tre vasche site in area R1; sono state verificate le caratteristiche del sistema di confinamento del capannone, dell'impianto di abbattimento, e della depressione ottenuta attraverso misure differenziali di pressione effettuate dalla ditta e attraverso misure di velocità dell'aria all'ingresso delle bocchette di immissione effettuate dal Servizio Pre.S.A.L utilizzando un anemometro. Inoltre sono state verificate, nelle fasi più significative e a maggior rischio, l'attuazione di quanto previsto nel POS e nel PSC (in particolare le misure di prevenzione e protezione messe in atto (cabina di controllo, videosorveglianza, vie di fuga), sono state effettuate delle campagne di monitoraggio degli agenti chimici pericolosi e cancerogeni per valutare le esposizioni professionali e le misure di prevenzione e protezione. Le campagne di monitoraggio effettuate dal Servizio Pre.S.A.L. che hanno riguardato prevalentemente la misura dei livelli di esposizione a solventi organici volatili, idrocarburi policiclici aromatici e benzene si sono integrate con quelle effettuate dalla ditta appaltatrice riuscendo così a fornire un numero sufficiente di dati capaci di descrivere correttamente la distribuzione spazio temporale degli inquinanti. I protocolli utilizzati nei monitoraggi effettuati dal Servizio Pre.S.A.L. erano quelli delle norme tecniche di riferimento per il campionamento in atmosfere indoor, così come quelli analitici adottati dalla CON-TARP dell'INAIL. Inoltre si è avuto cura di verificare i protocolli analitici adottati dalla ditta, le misure e le caratteristiche della strumentazione in dotazione per la definizione della qualità dell'atmosfera interna all'aria di lavoro (rilevatore multigas per la misurazione istantanea di CO, H₂S, O₂, % LEL; e fotoionizzatore per la misurazione istantanea di VOC). Dall'analisi critica dei dati ottenuti è stato possibile definire il protocollo sanitario e la sorveglianza sanitaria, l'istituzione del registro degli esposti a cancerogeni e ridefinire le procedure operative attraverso l'aggiornamento della valutazione del rischio chimico, del POS e del PSC alla luce dei dati ottenuti da utilizzarsi in ogni altro intervento similare e successivo.

DESCRIZIONE DELLE FASI DELL'OPERA E ANALISI DEI RISCHI. MISURE DI PREVENZIONE E PROTEZIONE ATTUATE E PROBLEMI RISOLTI

INSTALLAZIONE DELLE OPERE DEL CANTIERE

Delimitazione dell'area del cantiere

Descrizione della lavorazione:

L'area di cantiere è stata inizialmente delimitata, sono state allestite baracche e servizi, inol-

tre è stata apposta la cartellonistica ed identificata l'area per il deposito del materiale proveniente dallo sbancamento.



Figura 2: Area di cantiere



Figura 3: Spogliatoi

Rimozione degli strati di terra che ricoprivano le vasche e preparazione del basamento

Descrizione della lavorazione:

è stato effettuato lo sbancamento degli strati di asfalto e terreno sovrastante le vasche, per predisporlo alla realizzazione del basamento dell'area confinata. Per l'accesso dei mezzi d'opera è stata realizzata un'ampia e solida rampa. Il terreno asportato è stato accumulato in una zona dedicata appositamente. Durante le operazioni di sbancamento dell'area è stata ritrovata una vasca piccola contenente catrame, è stato quindi necessario bonificarla per consentire il proseguo dell'attività. E' stato inoltre predisposto il basamento in cemento per il successivo montaggio della tensostruttura di sostegno del telo del capannone.



Figura 4: Rimozione terra



Figura 5: Colata di cemento per il basamento

Ritrovamento e bonifica della vasca piccola

Descrizione della lavorazione:

La rimozione del materiale contenuto nella vasca è avvenuta operando dall'esterno con un escavatore dotato di benna rovescia. Dapprima è stata rimossa la copertura della vasca con martello idraulico montato su miniescavatore conservando una parte delle pareti per garantire il contenimento dei materiali durante la fase di estrazione, successivamente è stato estratto il surnatante soprastante i catrami. I catrami avevano una consistenza troppo liquida per l'asporto e sono stati mescolati con segatura fino a raggiungere una viscosità tale da poter essere raccolti con pala meccanica e stoccati in un cassone scarrabile a tenuta e con copertura mobile.



Figura 6: Confinamento vasca piccola



Figura 7: Mescolamento dei catrami con segatura

- **1. Problema:** valutazione del rischio di esposizione professionale a catrami cancerogeni e verifica delle sostanze aerodisperse.

Partendo da un rischio generico (tali catrami sono classificati R45 nel 22° ATP) diveniva essenziale valutare correttamente il rischio da agenti chimici pericolosi e cancerogeni. La ditta appaltatrice aveva correttamente identificato il tipo di rischio ma non esistevano dati precisi sulla valutazione.

Soluzione: acquisite le analisi dei catrami presenti sul piano di caratterizzazione per avere informazioni sulla matrice di partenza, sono state proposte delle prove di laboratorio volte alla caratterizzazione della frazione volatile. Sulla base di queste analisi sono stati correttamente identificati gli agenti chimici pericolosi e cancerogeni presenti nell'ambiente di lavoro, per consentire alla ditta di adempiere a pieno a tutti gli obblighi previsti dal titolo VII e VII bis del Dlg 626/94.

E' stato definito un protocollo di monitoraggio: si è deciso di monitorare la presenza in aria di alcuni solventi organici volatili (SOV) e di idrocarburi policiclici aromatici (IPA). Tale scelta è stata fondata sulla base delle caratteristiche chimico-fisiche delle sostanze presenti nei catrami e sulle prove di laboratorio proposte alla ditta appaltatrice dal Servizio Pre.S.A.L.

Sono stati effettuati campionamenti personali ed ambientali di SOV ed IPA con sistemi di campionamenti attivo.

- **2. Problema:** l'asportazione dei catrami era legata alle caratteristiche fluidodinamiche. Infatti esisteva una variabilità della viscosità degli stessi. I carotaggi effettuati nella vasche avevano rilevato talvolta materiali più liquidi, talvolta più densi. In ogni caso erano troppo densi da poter essere aspirati con pompe e troppo liquidi per poter essere prelevati con pala meccanica.

Soluzione: si è deciso di utilizzare all'occorrenza dei filler e in particolare segatura di legni dolci (sono stati esclusi i legni duri allo scopo di non introdurre un nuovo rischio cancerogeno).

- **3. Problema:** Evitare una forte emissione di ammoniaca in forma gassosa data la natura fortemente alcalina dei catrami ($\text{pH} > 10$) per la presenza nella matrice di NH_3 .

Soluzione: non si è ritenuto opportuno tamponare la matrice con acidi deboli (ad es. acido tartarico) in quanto dati di letteratura riferiscono della possibile emissione di vapori di acido cianidrico da matrici legnose, (la procedura di lavoro prevedeva in alcuni casi di mescolare segatura al catrame). Si è deciso invece di effettuare il monitoraggio dell'ammoniaca durante la rimozione dei catrami. I livelli di ammoniaca rilevati dall'analizzatore in continuo sono stati molto bassi come è possibile rilevare nel grafico seguente (figura 8a) che riporta i livelli registrati durante la rimozione dei catrami sull'escavatorista.



Figura 8a: Monitoraggio dell'ammoniaca

- **4. Problema:** definizione delle procedure di lavoro.
Soluzione: attraverso la valutazione critica dei dati sono state ridefinite le procedure operative attraverso l'aggiornamento della valutazione del rischio chimico, del POS e del PSC.
- **5. Problema:** scelta dei dispositivi di protezione respiratori e definizione dei tempi di durata dei filtri. Era possibile utilizzare maschere facciali elettroalimentate con filtri piuttosto che sistemi a presa di aria esterna che determinavano un forte ingombro vincolando i movimenti dell'operatore.
Soluzione: preliminarmente si è verificato tramite il monitoraggio in continuo che la concentrazione di O_2 nell'area confinata era tale da consentire l'utilizzo di maschere elettroventilate ($>17\%v/v$ figura 8B).



Figura 8b: Monitoraggio dell'ossigeno

Basandosi sui dati ottenuti dalle prove sperimentali mirate alla caratterizzazione della frazione volatile (la prova eseguita riscaldando 100 grammi di catrame a 50°C forniva la composizione delle singole sostanze individuate e la concentrazione di SOV totali di 100 mg/m³) è stato possibile scegliere i corretti filtri per i dispositivi respiratori. Le condizioni operative consentivano l'utilizzo di maschere intere elettroalimentate con filtri combinati per polveri e gas. Utilizzando un software NIOSH è stato possibile definire i tempi di sostituzione dei filtri.

- **6. Problema:** verifica delle misure di prevenzione e protezione adottate per ridurre le esposizioni ad agenti chimici pericolosi.
Soluzione adottata: E' stato effettuato il monitoraggio biologico del benzene, naftalene e piombo.
L'utilizzo di sistemi a lettura diretta in tempo reale (SOV, O₂, CO, NH₃, LEL) provvisti di sistemi di allarme in caso di superamento dei livelli di guardia, ha consentito di monitorare in tempo reale i livelli di inquinanti prodotti sia per quanto riguarda l'aspetto tossicologico che per quello legato alla sicurezza (gli inquinanti prodotti possono generare atmosfere esplosive).
- **7. Problema:** evitare l'emissioni all'esterno di sostanze pericolose e maleodoranti.
Soluzione: è stato realizzato un piccolo confinamento ed è stato installato un ventilatore per estrarre i vapori.
- **8. Problema:** verifica della rispondenza dei dati ottenuti dai campionamenti personali ed ambientali eseguiti dalla ditta.
Soluzione: sono stati verificati i protocolli di campionamento, le metodiche analitiche utilizzate e l'utilizzo delle stesse metodiche analitiche per ottenere dati confrontabili.
- **9. Problema:** definizione del protocollo sanitario
Soluzione: il protocollo sanitario e la periodicità della sorveglianza sanitaria dei lavoratori addetti alla bonifica sono stati definiti sulla base delle analisi dei catrami (prevalentemente per il piombo), delle rilevazioni degli inquinanti aerodispersi (prevalentemente per il benzene e naftalene).

- **10. Problema:** intossicazione acuta a causa dell'esposizione massiva alle sostanze pericolose contenute nei catrami
Soluzione: sono state trasferite all'ospedale di pertinenza (CTO Andrea Alesini) le informazioni necessarie per poter intervenire in caso di emergenza

Realizzazione di una tensostruttura metallica su un basamento in cemento e predisposizione dell'impianto di aspirazione polveri e vapori e del confinamento statico e dinamico

Descrizione della lavorazione:

Dopo la bonifica della vasca piccola è stato realizzato il basamento per il confinamento statico e dinamico dell'area sopra le vasche da bonificare. Tale confinamento aveva lo scopo di isolare le lavorazioni dall'ambiente circostante. Il confinamento è stato ottenuto costruendo una tensostruttura su cui installare l'impianto di aspirazione e il telo di copertura per il confinamento statico e dinamico, successivamente è stato installato il sistema di immissione aria (attraverso delle finestrelle laterali lungo il lato opposto alle vasche) e della bocchetta di estrazione sito in alto in corrispondenza della vasca lato sud.

Tale struttura ricopriva le tre vasche (lato sud, centrale e lato nord) solo per la porzione che sarebbe stata successivamente aperta per accedere ai catrami e aveva le dimensioni di circa metri 15 x 32 x 7.



Figura 9: Struttura a sostegno del capannone



Figura 10: Tensostruttura

- **11. Problema:** in fase di progettazione dell'opera era stata valutata l'ipotesi di confinare tutta l'area sopra le vasche, tale ipotesi presupponeva una struttura di dimensioni molto maggiori rispetto a quella realizzata in quanto avrebbe incluso all'interno anche l'edificio centrale. Un confinamento così ampio avrebbe però evitato di lavorare internamente alle vasche.
Soluzione adottata: la ditta appaltatrice ha deciso di confinare solo una parte dell'area sita sopra le vasche (area colorata in rosso nella planimetria) e di operare parte della bonifica direttamente all'interno delle vasche. Tale scelta aveva un minore impatto ambientale ed economico.

- **12. Problema:** verificare se l'immissione di aria nell'ambiente di lavoro confinato era sufficiente.
Soluzione: sono state realizzate delle finestrate lungo un lato del capannone.



Figura 11: Finestrate di immissione aria



Figura 12: Bocchetta di estrazione aria

- **13. Problema:** verificare l'efficacia del confinamento.
Soluzione: sono state effettuate delle misure della depressione prima dell'inizio dei lavori attraverso misure differenziali di pressione ed è stato messo in programmazione di ripetere periodicamente la verifica. Inoltre sono state effettuate dal servizio Pre.S.A.L misure di velocità dell'aria lungo le finestrate di ingresso della stessa.



Figura 13: Confinamento particolare delle finestrate di immissione



Figura 14: Confinamento

- **14. Problema:** eliminare l'immissione di gas provenienti dalla combustione dei mezzi meccanici utilizzati all'interno dell'area confinata.
Soluzione: è stato realizzato un sistema di recupero fumi di combustione collegato direttamente all'esterno.
- **15. Problema:** resistenza al fuoco del sistema di confinamento.
Soluzione: il telone di copertura possedeva una resistenza al fuoco autoestinguente di classe 1 tale da poter essere utilizzato nell'intervallo di temperatura compreso tra -25 e + 80°C.

Sistema di contenimento ed abbattimento degli inquinanti:

Descrizione della lavorazione:

Installazione di un impianto di estrazione e filtrazione dell'aria che potesse garantire un ricambio di almeno 5.5 ricambi/ora. L'impianto garantiva la cattura delle polveri e dei vapori presenti, e assicurava che l'area di lavoro fosse in depressione impedendo la contaminazione dell'ambiente esterno (confinamento dinamico). L'impianto di aspirazione e depurazione delle emissioni gassose era costituito da 2 ventilatori e 2 filtri formati da un prefiltro e da un impianto di abbattimento a carboni attivi per il contenimento di polveri e agenti chimici pericolosi. Non veniva operato il ricircolo dell'aria.

- **16. Problema:** Verifica dell'efficacia del sistema di abbattimento degli inquinanti.
Soluzione: verifica delle caratteristiche tecniche dei sistemi filtranti (tipologia, quantità, proprietà adsorbenti ecc.).



Figura 15: Cisterne contenenti carboni attivi



Figura 16: Condotto di collegamento al sistema di abbattimento

- **17. Problema:** la natura delle lavorazioni che sviluppavano ingenti quantità di inquinanti ha evidenziato che nonostante l'impianto garantisse un numero elevato di ricambi aria per ora era comunque necessario utilizzare sempre i DPI.
Soluzione: utilizzare all'interno dell'aria confinata anche durante il funzionamento dell'impianto di aspirazione delle maschere a pieno facciale elettroassistite provviste di filtri combinati per vapori e polveri.

Inizio dell'intervento di bonifica con la realizzazione di una pavimentazione in cemento all'interno del capannone

Descrizione della lavorazione:

Parte dell'area confinata dal capannone, sulla quale sarebbero intervenuti i mezzi di cantiere, è stata pavimentata con una colata in cemento allo scopo di abbattere le polveri e di conferire maggiore resistenza al pavimento stesso.



Figura 17: Realizzazione della pavimentazione



Figura 18: Lavorazioni sul basamento

- **18. Problema:** fornire solidità alla pavimentazione per la movimentazione dei mezzi meccanici e ridurre la produzione di polveri.
Soluzione: realizzazione di una pavimentazione in cemento armato.
- **19. Problema:** creare l'accesso all'area confinata.
Soluzione: è stata realizzata una rampa di accesso che collegava la zona di preconfinamento all'area confinata riducendo il dislivello ottenuto con gli scavi.

Installazione cabina di comando

Descrizione della lavorazione:

Tutte le lavorazioni effettuate all'interno dell'aria confinata potevano essere vigilate attraverso una cabina di controllo adiacente al capannone, sita lungo il lato a sud e dotata di finestratezza e di un sistema di video-sorveglianza capace di fornire in tempo reale le immagini acquisite dall'interno delle vasche.



Figura 19: Cabina di comando



Figura 20: Vista della cabina di comando dall'interno del capannone

- **20. Problema:** seguire le lavorazioni che avvenivano in area confinata.

Soluzione: è stata allestita una cabina di comando adiacente al capannone, dotata di una finestratura allo scopo di consentire la visuale sulle lavorazioni senza esporre ai rischi da agenti chimici pericolosi inutilmente i lavoratori non direttamente coinvolti con la bonifica. Inoltre da questa postazione più arretrata, ma sita ad un'altezza sufficiente da garantire l'intera visuale, era possibile comunicare attraverso trasmettenti portatili con i lavoratori addetti alla bonifica.

Gestione delle emergenze

Descrizione della lavorazione:

Durante l'esecuzione dell'intervento doveva essere garantito il controllo visivo delle lavorazioni che avvenivano all'interno dell'area confinata nonché le comunicazioni tra l'interno e l'esterno.

- **21. Problema:** gestione delle emergenze.

Soluzione: realizzazione di un sistema di videosorveglianza gestito in remoto dalla cabina di controllo attraverso l'installazione di videocamere e di apparecchiature portatili per le comunicazioni.



Figura 21: Telecamere installate all'interno delle vasche



Figura 22: Vista dell'interno della vasca



Figura 23: Monitor in cabina di comando

Installazione delle vie di fuga

Descrizione della lavorazione:

Sono state installate delle vie di fuga per i lavoratori che operavano all'interno della vasca, esse sono state ricavate perforando la soletta in cemento delle vasche più lunghe inserendo all'interno delle scale metalliche fino a raggiungere il fondo della vasca. Tali vie di fuga potevano garantire la sicurezza dei lavoratori in caso di emergenza, rilevabili in tempo reale anche attraverso il sistema di videosorveglianza e le comunicazioni radio tra operai e capocantiere.



Figura 24: Uscita di emergenza



Figura 25: Confinamento delle vie di fuga



Figura 26: Scale a servizio delle vie di fuga

- **22. Problema:** gestione delle emergenze e delle vie di fuga.
Soluzione: realizzazione di due vie di fuga ottenute perforando la soletta di cemento della vasca lato sud e in scale utilizzate anche per l'accesso alle vasche.

Sviluppo della bonifica

FASE 1: Rimozione di una porzione della soletta di copertura di ogni vasca

Descrizione della lavorazione:

In questa fase è stata rotta con un martello demolitore la soletta in cemento posta a copertura della vasca.



Figura 27: Soletta di copertura delle vasche in cemento

- 23. *Problema:* idoneità statica dei solai in cui dovevano insistere le lavorazioni con i mezzi meccanici in dotazione.
Soluzione: verifica dell'idoneità statica attraverso calcoli strutturali effettuati da personale tecnico abilitato.
- 24. *Problema:* esposizione a rumore.
Soluzione: valutazione del rischio ed utilizzo di dispositivi di protezione individuali: cuffie antirumore

Aspirazione e pompaggio delle acque superficiali

Descrizione della lavorazione:

Aspirazione del battente di acqua soprastante i catrami tramite una cisterna aspirante di un vettore autorizzato al trasporto del rifiuto presso un idoneo impianto di smaltimento. La fase acquosa superficiale è stata estratta con l'utilizzo di una pompa ad immersione e caricata su autocisterna per il trasporto e lo smaltimento; i rifiuti solidi estratti mediante escavazione sono stati caricati in cassoni e trasportati direttamente alla destinazione individuata per lo smaltimento. Quando si trattava di materiale catramoso misto a terra ma non perfettamente palabile si è provveduto ad addensarlo mescolandolo con segatura.

- 25. *Problema:* rischio di caduta all'interno delle vasche contenenti catrami.
Soluzione: costruzione di solidi parapetti a protezione di tutte le cavità.



Figura 28: Parapettatura delle vasche



Figura 29: Catrami

FASE 2: Mescolamento con filler

Descrizione della lavorazione:

Mescolamento tramite una benna montata su un escavatore tipo bobcat di segatura prove-

niente da legni dolci con la massa catramosa allo scopo di migliorare la palabilità della stessa e di ridurre i livelli degli inquinati organici volatili aerodispersi (contenuti nella frazione più oleosa).



Figura 30: Mescolamento dei catrami con segatura

- **26. Problema:** esposizione a polveri di legno cancerogene.
Soluzione: si è scelto di utilizzare polveri di legno dolci.
- **27. Problema:** caratteristiche del rifiuto.
Soluzione: le operazioni di bonifica sono state eseguite secondo la sequenza: vasca centrale, vasca lato sud, vasca lato nord. In alcune fasi della bonifica delle vasche lato sud e lato nord è stato necessario mescolare nella vasca centrale i catrami estratti con la segatura di legno per ottenere un rifiuto adeguato al conferimento in discarica, questo ha determinato fasi intermedie di mescolamento aggiuntive.

FASE 3: Asporto dei catrami

Descrizione della lavorazione:

Dopo il mescolamento con i filler, i catrami sono stati asportati e stoccati nei containers per lo smaltimento. L'asporto è avvenuto dapprima dall'esterno della vasca con un escavatore provvisto di benna rovescia. Successivamente quando non era più possibile raggiungere direttamente il catrame è stato calato all'interno della vasca un piccolo escavatore (bobcat) che avvicina i materiali all'ingresso della vasca per consentire alla benna dell'escavatore esterno di continuare l'asporto.

Il lavoro di rimozione dei catrami è stato svolto dai seguenti operatori:

- escavatorista: addetto all'escavatore, carica il materiale, mescola i componenti e riempie i container per lo smaltimento.

- operatore a terra: ha la funzione di dirigere tutte le manovre, verifica le criticità di ogni fase lavorativa e comunica sia con l'escavatorista che con il capocantiere che vigilava sulle lavorazioni.



Figura 31: Prelievo catrami



Figura 32: Stoccaggio catrami in container

- **28. Problema:** raggiungimento di livelli elevati di concentrazione dei solventi organici volatili capaci di generare atmosfere esplosive.
Soluzione: i lavoratori indossavano esplosimetri in area di cantiere e strumenti a lettura diretta capaci di determinare la concentrazione totale dei SOV riportati ad uno standard di riferimento.
- **29. Problema:** rischio di caduta all'interno delle vasche contenenti catrami.
Soluzione: costruzione di solidi parapetti a protezione di tutte le cavità.
- **30. Problema:** infiltrazione di acqua dal terreno circostante.
Soluzione: è stato necessario far decantare le acque infiltrate per poterle aspirare e conferire a discarica.



Figura 33: Vasca allagata dalle acque piovane

- **31. Problema:** esposizione a cancerogeni volatili ed ad agenti chimici pericolosi.
Soluzione: controllo dei livelli di esposizione a solventi organici volatili, predisposizione del sistema di aspirazione ed utilizzo di DPI per il corpo e per la protezione delle vie aeree.
- **32. Problema:** i catrami provenienti dalla vasca centrale si presentavano con caratteristiche tali che la frazione in ceneri del rifiuto combusto non consentiva l'accettazione all'impianto di incenerimento, d'altra parte i catrami si presentavano con una consistenza troppo liquida per poter essere conferiti a discarica.
Soluzione: i catrami sono stati mescolati con filler per raggiungere la corretta consistenza.
- **33. Problema:** durante la lavorazione nella vasca centrale è stata aperta anche la vasca lato sud diversamente da quanto era stato previsto nel piano operativo di sicurezza. Tale non conformità ha portato ad un intervento di ispezione e prescrizione da parte del Servizio Pre.S.A.L.
Soluzione: si è provveduto a rivalutare l'efficacia delle misure di prevenzione e protezione alla luce della nuova situazione con particolare attenzione al dimensionamento del sistema di aspirazione ed aggiornare il piano operativo di sicurezza e il piano di coordinamento.

Accesso alle vasche attraverso scale di ferro

Descrizione lavorazione:

L'accesso del personale all'interno delle vasche avveniva attraverso scale metalliche che costituivano anche le vie di fuga in caso di evacuazione.



Figura 34: Scala di accesso alla vasca



Figura 35: Scala di accesso ed emergenza

- **34. Problema:** accesso alle vasche e vie di fuga.
Soluzione: sono state realizzate delle scale che consentivano sia l'accesso del personale addetto alla bonifica alle vasche che eventualmente l'esodo in caso di necessità.

Prelievo dei catrami operando all'interno delle vasche per accedere alle zone più distanti

Descrizione della lavorazione:

Il prelievo dei catrami dalla vasca lato sud e dalla vasca lato nord che sono quelle più lunghe (circa 20 metri) avveniva da un foro realizzato su una porzione della soletta di copertura, la parte più estrema interna all'aria confinata (vedere la piantina). In tal modo i catrami venivano prelevati inizialmente dall'esterno della vasca tramite un escavatore provvisto di benna meccanica fino a quando il materiale era accessibile, successivamente il lavoro ha richiesto di entrare fisicamente all'interno della vasca con degli escavatori più piccoli ed asportare il restante materiale trasportando i catrami dal fondo verso l'apertura della soletta. In fase progettuale si era ritenuto che il catrame sarebbe avanzato con il fronte d'onda via via che veniva rimosso, in realtà a causa delle caratteristiche fluidodinamiche del materiale catramoso ciò non è avvenuto in quanto la viscosità era tale da non consentire il livellamento in condizioni di energia equipotenziale ma è stato necessario intervenire entrando all'interno delle vasche. La lavorazione così svolta ha richiesto particolari cautele in quanto i rischi presenti sia dal punto di vista della sicurezza che della salute dei lavoratori erano molteplici soprattutto per i lavoratori che hanno operato all'interno della vasca.



Figura 36: Interno della vasca lato nord



Figura 37: Lavorazione all'interno della vasca



Figure 38 e 39: Interno della vasca

- **35. Problema:** esposizione a sostanze cancerogene, tossiche, nocive.
Soluzione: utilizzo di maschere elettroalimentate con filtri combinati e di strumenti a lettura diretta per il monitoraggio in continuo delle sostanze più critiche e dei SOV totali e della concentrazione di O_2 . Il monitoraggio dell' O_2 consente di valutare se esistono le condizioni per utilizzare sistemi filtranti piuttosto che sistemi a presa d'aria dall'esterno. Il monitoraggio dei SOV totali serve a valutare i tempi di durata dei filtri a carbone attivo.
- **36. Problema:** garantire un sufficiente ricambio di aria all'interno delle vasche.
Soluzione: è stato utilizzato un sistema aggiuntivo di aspirazione dei vapori nocivi che veniva posizionato all'interno delle vasche col procedere delle lavorazioni e dello svuotamento della vasca.
- **37. Problema:** presenza di un rischio da atmosfere esplosive.
Soluzione: i lavoratori che operavano all'interno delle vasche indossavano esplosimetri dotati di sistemi di allarme e le apparecchiature utilizzate erano idonee per tali atmosfere.
- **38. Problema:** l'elevata viscosità del materiale non ha consentito lo svuotamento dall'esterno delle vasche (lato sud e lato nord) in quanto il materiale non avanzava con il fronte dell'onda come previsto in fase di progettazione dell'opera.
Soluzione: è stato necessario estrarre i catrami operando all'interno delle vasche (lato sud e lato nord) utilizzando un piccolo escavatore.
- **39. Problema:** scarsa visibilità all'interno delle vasche.
Soluzione: è stato realizzato un sistema di illuminazione.
- **40. Problema:** rischio di impattare sui pilastri presenti all'interno delle vasche.
Soluzione: utilizzo di mezzi cingolati di piccole dimensioni capaci di muoversi in spazi ridotti e dotati di illuminazione.

FASE 4: Lavaggio delle pareti delle vasche tramite getti di acqua ad alta pressione

Descrizione della lavorazione:

In questa fase un addetto alla pulizia esegue il lavaggio delle superfici utilizzando getti ad acqua con elevata pressione.



Figura 40: Lavaggio delle pareti

- **42. Problema:** definire i livelli di esposizione ad agenti chimici pericolosi in questa fase.
Soluzione: sono stati effettuati dei campionamenti ambientali e personali.
- **43. Problema:** Ci sono stati fenomeni di trasudamento dei catrami adsorbiti dalle superfici delle vasche e quindi è la pulizia stata particolarmente laboriosa.
Soluzione: la pulizia è stata ripetuta più volte.
- **44. Problema:** durante le piogge si sono avuti fenomeni di allagamento delle vasche.
Soluzione: è stato necessario aspirare le acque infiltrate e trattarle come rifiuti pericolosi.

CARATTERIZZAZIONE DEI CATRAMI E DELLA COMPONENTE VOLATILE E PROGETTAZIONE DELL'INDAGINE AMBIENTALE

I catrami sono stati forniti dalla ditta CM Cantieri Moderni come rappresentativi dell'intero quantitativo esistente. In particolare sono state effettuate analisi chimiche sulla matrice, analisi viscosimetriche e analisi della frazione volatile.

Analisi chimica sulla matrice

Sono stati effettuati dei carotaggi in diversi punti delle vasche allo scopo di definire le sostanze nocive presenti. Sui campioni sono state eseguite alcune analisi chimiche, i cui risultati sono riportati nelle tabelle seguenti (tab. 1A e 1B). Da esse si rileva un'abbondanza di sostanze organiche volatili (SOV), idrocarburi policiclici aromatici (IPA), fenoli, piombo e altri metalli pesanti.

Tabella 1A: **Analisi dei catrami prelevati per carotaggio (campione 1)**

Sostanza	Concentrazione mg/kg	Sostanza	Concentrazione mg/kg	Sostanza	Concentrazione mg/kg
Propilbenzene	0.9	Pirene	1204	Benzo(a)pirene	640
Toluene	7.5	Dibenzopirene	1971	Benzofluorantene	1258
Etilbenzene	1.6	Fenolo	125	Benzo(h,i)perilene	1716
Xileni (o,m,p)	11.4	Metil-fenolo	64	Crisene	587
Acenaftilene	853	dimetilfenolo	33	Naftalene	765
Acenaftene	2142	Idrocarburi totali	780.000	Antracene	347
Fluorene	214	Fenoli volatili	517	Dibenzo(a,h) antracene	1436
Fenantrene	992	Piombo	5	Benzene	0.1
Benzo(a)antracene	347	Rame	2		

Tabella 1B: Analisi dei catrami prelevati per carotaggio (campione 2)

Sostanza	Concentrazione mg/kg	Sostanza	Concentrazione mg/kg	Sostanza	Concentrazione mg/kg
Toluene	13.4	Pb	3.86	Benzo(a)antracene	540
Etilbenzene	0.98	Ni	0.6	Benzofluorantene	346.73
Xileni (o,m,p)	17.6	Co	1.34	Benzo(h,i)perilene	987.34
Acenaftilene	2122	Zn	3.6	Crisene	544.1
Acenaftene	2892	V	0.98	Naftalene	1024
Fluorene	230	Cr (VI)	<0.1	Dibenzo(a,h) antracene	987.23
Fenantrene	988	Fenoli volatili	812	Benzene	<0.1
		Rame	1.21		

Analisi viscosimetriche

Le prove viscosimetriche (effettuate utilizzando un viscosimetro di Brookfield a rotazione termostato da un bagno termostatico ad olio diatermico per garantire l'esattezza delle temperature di analisi del campione) sono state condotte sui catrami per misurare la variazione della viscosità dinamica del catrame con la temperatura.

I risultati riportati in figura 41 mostrano valori di viscosità mediamente decrescenti con la temperatura espressi in centiPoise compresi tra 8300 cPs a 20°C e 480 cPs a 55°C.

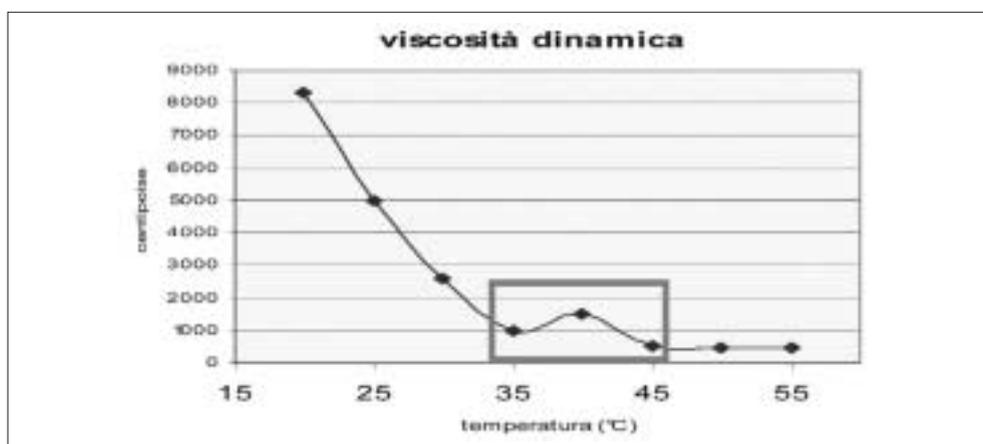


Figura 41: Rappresentazione della viscosità dei catrami in funzione della temperatura

Dal momento che la lavorabilità di un fluido viscoso viene garantita in un intervallo di valori compreso tra 0 e 1200 cPs si ricava che dai valori ottenuti nella prova la temperatura di lavorabilità del campione n. 2 risulta essere > 40-45°C. Inoltre i valori di viscosità misurati a 20°C sono troppo elevati per poter consentire l'asporto per aspirazione. Da tali prove risultava che il campione era quindi troppo fluido per poter essere spalato e troppo denso per poter essere aspirato. Sono state quindi effettuate delle prove di additivazione con materiali inerti per ottenere un ispessimento della consistenza dei materiali catramosi aumentandone la viscosità e consentendone quindi la rimozione attraverso l'asportazione con pale meccaniche. I filler utilizzati erano: segatura di legno (di granulometria compresa tra 1 e 3 mm), cemento tipo Portland, bicarbonato di calcio ($\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$) e le quantità impiegate variavano tra 2.5 e il 5.0 % p/p.

I risultati sono riportati in tabella 2:

Tabella 2: **Filler utilizzati per le prove**

Filler	Conc. % p/p	Viscosità ottenuta	Adesività	Trasudamento
Segatura di legno	2.5	Media	Media	Basso
Segatura di legno	5.0	Alta	Bassa	Basso
Cemento Portland	2.5	Bassa	Elevata	Elevato
Cemento Portland	5.0	Media	Media	Medio
Bicarbonato	2.5	Bassa	Elevata	Elevato
Bicarbonato	5.0	media	media	elevato

Dall'esame dei dati sperimentali si è valutato come soluzione migliore l'additivazione della segatura di legno in percentuale del 5.0 % p/p (figure 42 e 43) in quanto si ottiene:

- un campione che presenta alta viscosità e facilità di trasporto e gestione del prodotto;
- una bassa adesività che consente il contatto tra le diverse frazioni senza fenomeni di incolamento;
- un trasudamento contenuto di olii a basso peso molecolare con conseguente riduzione di emissione di VOC e odori molesti.

Effetto ottenuto:



Figura 42: Catrame prima dell'aggiunta del filler

Additivazione di segatura



Figura 43: Impasto finale

L'additivazione del cemento e del bicarbonato determinava inoltre la produzione indesiderata di NH_3 in forma gassosa, d'altra parte una correzione di acidità sulla matrice (tamponando ad esempio il sistema con acido tartarico) poteva far a sua volta sviluppare acidi deboli (quali acido cianidrico HCN) determinando ulteriori emissioni indesiderate ed altamente tossiche.

Analisi della frazione volatile

Sono state condotte due prove di laboratorio su aliquote di 100 grammi di catrame scaldato in un caso ad una temperatura pari a 30°C e nell'altro ad una temperatura di 50°C , sono stati quindi raccolti i vapori prodotti ed analizzati in gascromatografia con rilevatore a fotoionizzazione di fiamma, di seguito (figura 44) è riportato uno schema dell'esperimento di laboratorio (alle due temperature).

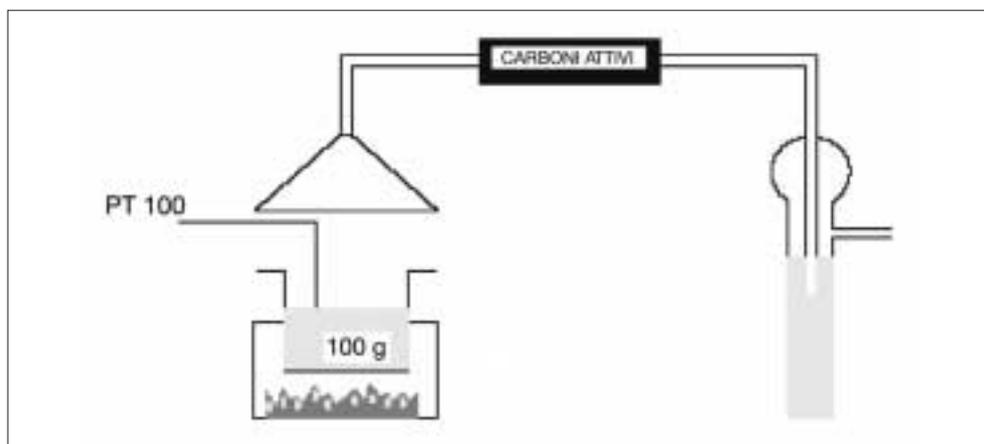


Figura 44: Schema dell'esperimento

I parametri applicati in laboratorio per l'esecuzione di un'analisi sono i seguenti:

Quantitativo in esame: 100 g

Modalità di riscaldamento campione: bagno termostatico elettrico

Termometro per controllo: a resistenza PT 100 (+/- 1°C)

Sistema di aspirazione vapori: pompa Zambelli DIGIT

Flussi aspirazione: 5 litri/min

Trappola raccolta idrocarburi: fiala carbone attivo Carbowax

Trappola raccolta Cianuri: gorgogliatore 200cc

Soluzione gorgogliatore: 0,01M NaOH

Durata campionamento: 30 min (150 litri)

Strumentazione di indagine: GC Varian CP3800, detector: FID + MS Varian Saturn 2000

La scelta di operare l'esperimento ad una temperatura di 30°C ci sembrava potesse ben rappresentare le condizioni di lavoro tenuto conto che la lavorazione effettiva sarebbe avvenuta in un periodo estivo ad una temperatura di circa 25°C , e che l'evaporazione dei composti organici volatili sarebbe comunque stata favorita dal rimescolamento continuo dei catrami sia con la segatura per ottenere un materiale più denso e quindi facilmente palabile, che durante la fase di asporto degli stessi.

Tabella 3: **Analisi della frazione volatile alle diverse temperature: a T=30°C e a T= 50°C**

	Analita	Prova a 30 °C	Prova a 50 °C
IPA	Acenaftene	86.3 µg/Nm ³	380,6 µg/Nm ³
	Acenaftilene	17.7 µg/Nm ³	319.7 µg/Nm ³
	Antracene	9.7 µg/Nm ³	<0.01 µg/Nm ³
	Benzo(a)pirene	6.9 µg/Nm ³	<0.01 µg/Nm ³
	Dibenzo(a,h)pirene	258.3 µg/Nm ³	<0.01 µg/Nm ³
	Fenantrene	40.5 µg/Nm ³	<0.01 µg/Nm ³
	Fluorene	71.6 µg/Nm ³	179.3 µg/Nm ³
	Naftalene	9.096,5 µg/Nm ³	40.934,1 µg/Nm ³
	Pirene	20.4 µg/Nm ³	<0.01 µg/Nm ³
SOV	Benzene	5.2 mg/Nm ³	6.2 mg/m ³
	Toluene	4.2 mg/Nm ³	6.10 mg/m ³
	Etilbenzene	0.40 mg/Nm ³	0.80 mg/m ³
	Xilene	3.50 mg/Nm ³	6.7 mg/m ³
	Propilbenzene	<0.1 mg/Nm ³	0.4 mg/m ³
	1,2,4 trimetilbenzene	0.7 mg/Nm ³	3.00 mg/m ³
	Altri SOV espressi come toluene	36.70 mg/Nm ³	103.00 mg/m ³
	Cianuri	<0.5 µg/l	<0.5 µg/l

Le prove di laboratorio hanno mostrato (tabella 3) che la frazione volatile estratta dai campioni si arricchisce in benzene, solventi organici volatili (SOV) ed idrocarburi policiclici aromatici (IPA). In particolare il benzene nel campione in massa si trovava in quantità < 0.1 mg/kg mentre nella frazione volatile raggiungeva valori tra 5,2 e 6,2 mg/m³.

L'esperimento condotto ad una temperatura di 50°C aveva lo scopo di valutare la variabilità delle concentrazioni dei singoli analiti con l'aumentare della temperatura. Come si evince dalla tabella 3 sono stati ricercati anche i cianuri in quanto il processo industriale che aveva generato i catrami avrebbe potuto contaminarli in cianuri, le analisi hanno dimostrato che i valori riscontrati erano al di sotto del limite di rilevabilità del metodo analitico utilizzato.

I risultati ottenuti dalle prove riportate in tabella 3 sono in accordo con le proprietà chimico-fisiche delle sostanze, riportate in tabella 4.

Tabella 4: **Caratteristiche chimico-fisiche**

Analiti	Peso Molecolare	Densità in g/cm³ a 20°C	Pressione di vapore mmHg a 25°C	Punto di fusione	Punto di Ebollizione °C	Odore	Limiti di infiammabilità Min-max
Benzene	78.11	0.87	75	5.5	80.1	aromatico	1.2%-7.8%
Toluene	92.14	0.87	28.4	-95	110.6	aromatico	1.2%-7.1%
Naftalene	128.42	1.15	0.087	80.5	218	forte	-
Etilbenzene	106.17	0.87	0.53	-95	136.2	dolce	0.8%-6.7%
m-xilene	106.16	0.86	8.29	-47.8	139.1	dolce	1.1%-7.0%
o-xilene	106.16	0.88	6.61	-252.8	144.5	dolce	1.0%-7.0%
p-xilene	106.16	0.86	8.84	-13.2	138.3	dolce	1.1%-7.0%
fenolo	94.11	1.13	0.35	40.9	181.8	pungente	-

Osservando i valori delle temperature di ebollizione delle varie sostanze si evidenzia, infatti, che quelle con temperatura di ebollizione più bassa (benzene, xileni e toluene) sono le più abbondanti nella fase vapore. La concentrazione delle sostanze nella fase vapore dipende fortemente dalle proprietà chimico fisiche, infatti il benzene (caratterizzato da una bassa temperatura di ebollizione ed un'elevata tensione di vapore), nonostante sia presente in quantità molto bassa nel catrame, è presente in concentrazioni più elevate in fase vapore, viceversa il naftalene, caratterizzato da una bassa tensione di vapore ed un'elevata temperatura di ebollizione e nonostante sia presente in concentrazioni maggiori nella matrice iniziale è poco presente in fase aeriforme.

SCOPO DELLE INDAGINI DI IGIENE INDUSTRIALE

Riassumendo, tutte le misure effettuate dal Servizio Pre.S.A.L e dalla Consulenza tecnica dell'INAIL hanno avuto lo scopo di:

- Acquisire un numero sufficiente di dati preliminari per definire correttamente le strategie di campionamento.
- Acquisire un numero sufficiente di dati per valutare correttamente l'esposizione professionale dei lavoratori addetti.
- Confrontare i dati acquisiti dagli organi istituzionali con quelli ottenuti dalla ditta appaltatrice che comunque ha effettuato anche misure autonome (sia in tempo reale attraverso strumenti a lettura diretta che campionamenti attivi su fiale specifiche) per verificare la rispondenza delle metodiche analitiche e di campionamento attuate dalla ditta allo scopo di ottenere dati omogenei e confrontabili.
- Valutare l'efficacia delle misure di prevenzione e protezione adottate.
- Far aggiornare la valutazione del rischio chimico e cancerogeno e ridefinire le procedure di lavoro per ridurre ulteriormente il livello di rischio.
- Far aggiornare il registro degli esposti ad agenti cancerogeni
- Far aggiornare il Piano Operativo di Sicurezza.
- Definire le misure di prevenzione e protezione da adottare in futuri ulteriori lavori della stessa tipologia.
- Informare il medico competente per gli obblighi relativi.
- Far adempiere in pieno a tutti gli obblighi di legge previsti dal titolo VII e VII bis del Dlgs 626/94.
- Valutare i livelli di esposizione professionale in funzione anche del monitoraggio biologico.
- Valutare l'efficacia della protezione offerta ai lavoratori dai DPI (con particolare attenzione alle protezioni respiratorie).

Campionamenti realizzati dal Servizio Tre.S.A.L. ed analisi effettuate dalla CONTARP dell'INAIL

Il D.Lgs. 25/02 individua (nell'allegato VIII-sexties) un elenco di metodiche standardizzate cui far riferimento nel campo della valutazione del rischio chimico.

Tabella 5: **Le principali Norme di riferimento**

Norme UNI EN citate nel decreto D.Lgs. 25/2002	
<i>UNI EN 482: 1998</i>	Atmosfera nell'ambiente di lavoro. Requisiti generali per le prestazioni dei procedimenti di misurazione degli agenti chimici.
<i>UNI-EN 689: 1997</i>	Atmosfera nell'ambiente di lavoro. Guida alla valutazione dell'esposizione per inalazione a composti chimici ai fini del confronto con i valori limite e strategia di misurazione.
<i>UNI EN 1076: 1999</i>	Atmosfera nell'ambiente di lavoro. Tubi di assorbimento mediante pompaggio per la determinazione di gas e vapori. Requisiti e metodi di prova.
<i>UNI 1232: 1999</i>	Atmosfera nell'ambiente di lavoro. Pompe per il campionamento personale di agenti chimici. Requisiti e metodi di prova.
<i>UNI EN 1540: 2001</i>	Atmosfera nell'ambiente di lavoro. Terminologia.
<i>UNI EN 12919: 2001</i>	Atmosfera nell'ambiente di lavoro. Pompe per il campionamento di agenti chimici con portate maggiori di 5 L/min. Requisiti e metodi di prova.

La norma UNI-EN 689 definisce la strategia e le metodologie per la valutazione dell'esposizione ad agenti chimici, definendo il numero di addetti da monitorare, la frequenza, la durata dei campionamenti e le procedure di calcolo per il confronto con i valori limite di esposizione.

Sulla base di tale norma di riferimento sono state individuate le mansioni, le fasi lavorative, la frequenza e durata dei campionamenti effettuati.

I campioni prelevati durante le indagini ambientali sono stati successivamente sottoposti ad analisi chimiche secondo metodiche analitiche standardizzate e riconosciute a livello internazionale quali: NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health), OSHA (Occupational Safety & Health Administration), UNICHIM (Associazione per l'Unificazione nel settore dell'Industria Chimica), ecc. al fine di garantire l'attendibilità dei risultati.

I campionamenti sono stati eseguiti dagli operatori del Servizio Pre.S.A.L (conformemente a quanto previsto dalle norme UNI EN presenti nell'allegato VII sexties del D.Lgs. 626/94) mentre la determinazione analitica è stata effettuata dal Laboratorio della Consulenza Tecnica dell'INAIL secondo le metodiche NIOSH sopra citate. I costi relativi alle analisi sono stati sostenuti interamente dall'INAIL e tale collaborazione rientra in un più ampio progetto, pluriennale, di approfondimento delle tematiche di igiene industriale.

Di seguito si riportano le tecniche di campionamento e le tecniche analitiche utilizzate.

Campionamenti istantanei

SOV (Solventi Organici Volatili) CO e NH₃

Sono stati eseguiti dei rilievi istantanei impiegando il Monitor Multi - gas PGM-50 della Rae Systems, dotato di un rilevatore di gas che fornisce un monitoraggio continuo dell'esposizione a due classi di inquinanti quali:

- composti organici attraverso un Detector a Foto-Ionizzazione (PID);
- composti inorganici con sensori elettrochimici.

Inoltre, lo strumento rileva la presenza di anidride carbonica attraverso un sensore a infrarossi non dispersivo (NDIR).

I livelli di concentrazione dei gas rilevati sono aggiornati dallo strumento in tempo reale e sono espressi in mg/m^3 .

Campionamento attivo

SOV (Solventi Organici Volatili)



Figura 45: Dispositivi per il campionamento attivo

Per il campionamento attivo dei SOV sono state utilizzate delle fiale in carbone attivo supportate da pompe a basso flusso operanti alla portata di 0,2 L/min. Al termine del prelievo, le fiale sono state desorbite con disolfuro di carbonio, ed analizzate per via gascromatografica, come previsto dalla metodica NIOSH 1501.

Per le analisi è stato impiegato il gascromatografo Trace GC 2000, Thermoquest munito di un rivelatore a ionizzazione di fiamma (GC-FID) e colonna capillare tipo Supelco SPB-5, 60 m x 0.32 mm, 1 μm film thickness. Di seguito è riportato il cromatogramma di una soluzione standard nelle condizioni analitiche utilizzate.

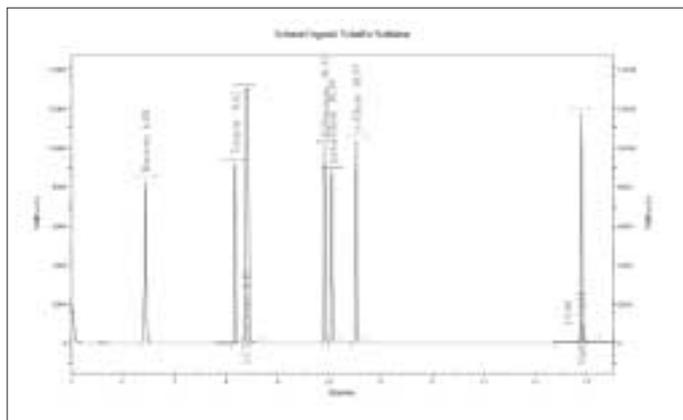


Figura 46: Cromatogramma SOV

IPA (Idrocarburi Policiclici Aromatici)

Per il campionamento degli IPA è stato utilizzato un sistema di captazione a doppio corpo con cui è possibile effettuare prelievi sia della fase vapore, con adsorbimento in fiala, che del particolato, con filtrazione su membrana.

Il sistema captante comprende: un filtro in PTFE di diametro 37 mm e porosità 2 µm contenuto in una cassetta in poliestere opaco di diametro 37 mm con space ring in cellulosa da 37 mm OD e 32 mm ID collegata alla fiala XAD 2 attraverso un tubo flessibile, il flusso di campionamento utilizzato è stato di 2 L/min.

Al termine del prelievo i filtri e gli strati adsorbenti della fiala sono stati desorbiti con acetone. L'estratto è stato analizzato mediante cromatografia in HPLC (High Performance Liquid Chromatography) con cromatografo HPLC UV/VIS 60000 LP utilizzando un rivelatore spettrofluorimetrico Thermoquest FL2000/FL3000, alle lunghezze d'onda in emissione alla massima intensità relativa per i singoli IPA, come prevede la metodica NIOSH 5506. Qui di seguito è riportato il cromatogramma di una soluzione standard nelle condizioni analitiche utilizzate.

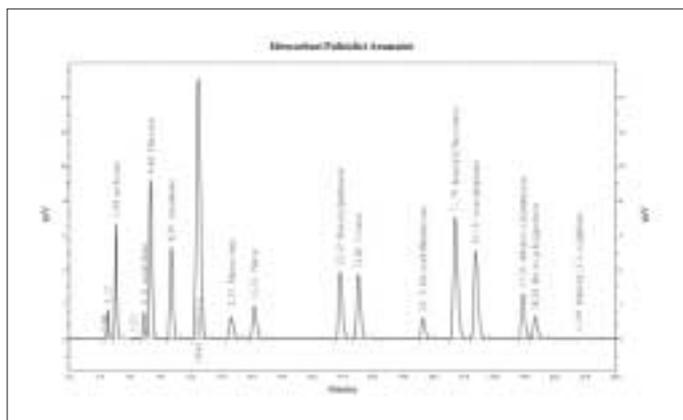


Figura 47: Cromatogramma IPA

INDAGINE AMBIENTALE

Vasca piccola

Le campagne di campionamento hanno previsto inizialmente dei monitoraggi effettuati sulla vasca piccola. La bonifica della vasca piccola è stata una lavorazione di modesta entità realizzata con una piccola struttura di confinamento assistita da un sistema di aspirazione dei vapori organici aerodispersi.



Figura 48: Copertura in mattoni della vasca piccola



Figura 49: Rimozione dei catrami dalla vasca piccola

Questi primi campionamenti hanno avuto un ruolo determinante nello stimare il tipo di inquinamento presente, individuare la qualità e la quantità degli analiti per pianificare i monitoraggi successivi.

Durante questa prima giornata di screening sono stati effettuati sia prelievi istantanei sia campionamenti attivi con adsorbimento su fiala di carbone.

Con i prelievi istantanei sono stati misurati i solventi organici volatili (SOV) totali, l'ammoniacca (NH_3) e il monossido di carbonio (CO) effettuando monitoraggi sia vicino al sistema di aspirazione in prossimità della vasca di bonifica che sull'addetto all'escavatore meccanico (escavatorista).

I campionamenti attivi sono stati eseguiti nelle stesse condizioni e postazioni dei prelievi istantanei, i risultati sono stati confrontati con quelli ottenuti nelle precedenti prove di rilascio, effettuate in laboratorio, in cui si erano riscontrati elevati livelli di concentrazioni di alcuni SOV quali: benzene, toluene, xileni, etilbenzene, fenoli e di idrocarburi policiclici aromatici (IPA). Per questa ultima classe di composti è stato effettuato uno screening qualitativo dei seguenti idrocarburi: naftalene (NA), acenaftilene (ACL), acenaftene (AC), fluorene (FL), fenantrene (PHE), antracene (AN), fluorantene (FA), pirene (PY), benzo[a]antracene (BaA), crisene (CHR), benzo[b]fluorantene (BbFA), benzo[a]pirene (BaP), dibenzo[a,h]antracene (DbahA), benzo[g,h,i]perilene (BghiP), indeno[1,2,3-cd]pirene (IP).

Nelle tabelle 6 e 7 sono riportati i valori degli analiti ricercati nelle due fasi indagate.

Tabella 6: **Campionamento istantaneo (concentrazione espressa in mg/m³)**

Fasi lavorative	Postazione fissa		Escavatorista	
	SOV totali	SOV totali	NH ₃	CO
Fase Mescolamento segatura	19,0	27,2	—	0,8
Fase Rimozione catrame	65,9	40,5	—	1,6

Tabella 7: **Campionamento attivo (concentrazione espressa in mg/m³)**

Fasi lavorative	Postazione fissa			Escavatorista	
	Benzene	Toluene	Xileni	Etilbenzene	Fenoli
Fase Mescolamento segatura	5,4	1,9	0,5	—	0,33*
Fase Rimozione catrame	13,0	8,1	3,0	—	—

* valore mediato sulle due fasi

Dalle due tabelle si evince che, per entrambe le postazioni di prelievo, i livelli degli inquinanti sono più bassi durante la fase di mescolamento con segatura e più elevati durante quella di rimozione del catrame; inoltre i valori di CO, NH₃ e fenoli sono quasi assenti o estremamente bassi rispetto ai limiti di esposizione professionale (ACGIH 2005 TLV/TWA per CO 29 mg/m³, per NH₃ 17 mg/m³, fenoli 19 mg/m³), pertanto non sono stati monitorati nelle successive campagne.

Lo screening qualitativo degli IPA ha evidenziato, in accordo con le prove di laboratorio, elevate concentrazioni di naftalene, più basse quelle di acenafrene e fenantrene e quasi nulle le altre (figura 50).

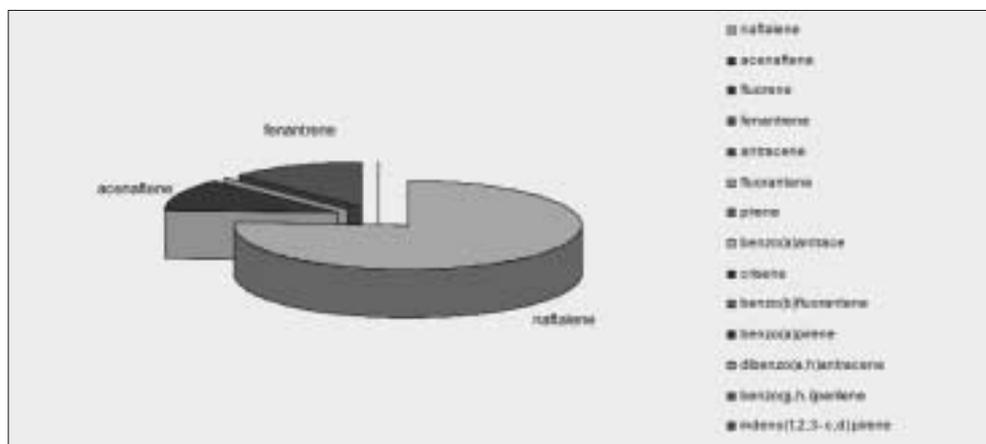


Figura 50: Screening degli IPA indagati

Alla luce dei risultati ottenuti sono stati individuati gli analiti da monitorare nelle successive campagne di indagine, ossia:

- per i SOV il benzene, il toluene, l'etilbenzene, gli xileni (miscela di isomeri), il cumene, il propilbenzene, l'1,2,4-trimetilbenzene e l'1,3,5-trimetilbenzene;
- per gli IPA il naftalene.

I monitoraggi sono stati eseguiti durante tutte le fasi del processo di bonifica e principalmente su due vasche quella centrale e quella del lato nord. Sono stati effettuati campionamenti sia ambientali che personali, per questi ultimi sono state individuate le seguenti mansioni: l'escavatorista, l'operatore a terra e l'addetto alla pulizia.

Vasca centrale

Fase di rimozione della soletta

La fase di rottura della soletta in cemento è eseguita da un escavatorista e da un operatore a terra che sorveglia le operazioni. Sono stati effettuati prelievi ambientali e personali sia di tipo attivo con fiale di carbone, che di tipo istantaneo con gli strumenti a lettura diretta.



Figura 51: Rimozione della soletta

In tabella 8 sono riportate le concentrazioni degli analiti adsorbite su fiala di carbone attivo mentre in figura 52 è riportato il grafico della concentrazione dei SOV totali misurata con il campionatore istantaneo.

Tabella 8: Campionamento su fiala di carbone attivo (concentrazione espressa in mg/m³)

Analiti	Personale		Ambientale	
	Operatore a terra	Escavatorista	Esterno vasca	Rampa di accesso
Benzene	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Toluene	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Etilbenzene	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
p,m-xilene	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
o-xilene	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Cumene	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Propilbenzene	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
1,3,5-trimetilbenzene	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
1,2,4-trimetilbenzene	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Naftalene	0.33	—	—	0.74

n.d. = il valore è al di sotto del limite di rilevabilità del metodo

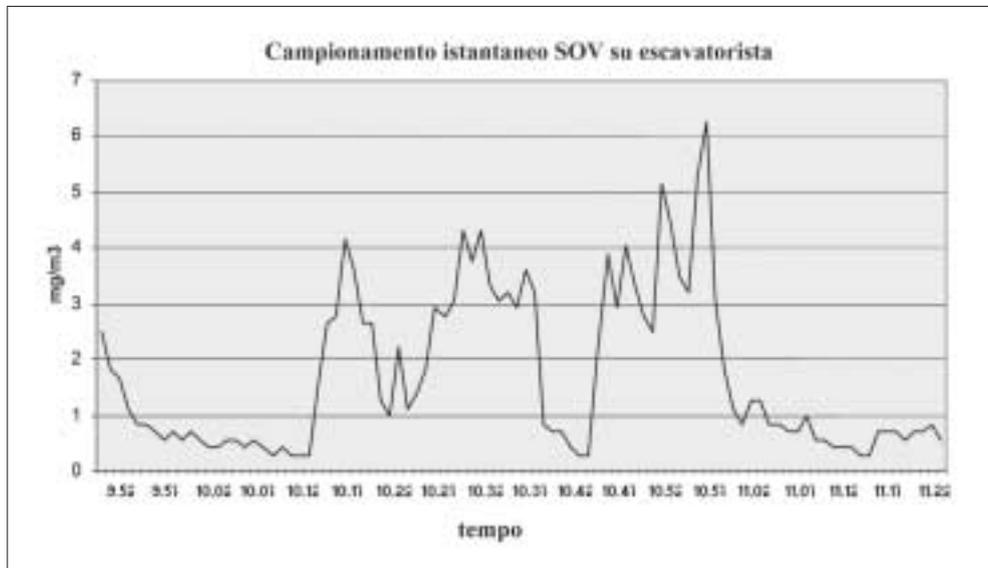


Figura 52: Campionamento istantaneo dei SOV Totali

Dalla tabella 8 si evince che molti degli inquinanti chimici ricercati sono risultati inferiori ai limiti di rilevabilità strumentale per l'analisi in gascromatografia, tali valori sono confermati anche dal campionamento istantaneo dei SOV totali, riportati in figura 52 ed espressi come concentrazione sul toluene .

Fase di mescolamento con segatura

La fase di mescolamento del catrame con segatura viene svolta da due operatori pertanto sono stati eseguiti 2 campionamenti personali e alcuni ambientali sia all'interno del capannone, che all'esterno e nella zona di preconfinamento.



Figura 53: Carico della segatura per mescolarla ai catrami



Figura 54: Mescolamento della segatura nella vasca centrale



Figura 55: Addensamento del catrame mescolato alla segatura

In tabella 9 sono riportati i prelievi effettuati su fiala di carbone attivo mentre in figura 56 è rappresentato il campionamento istantaneo dei SOV totali espresso come concentrazione sul toluene.

Tabella 9: Valori dei campionamenti personali ed ambientali (concentrazione espressa in mg/m³)

Analiti	Personale			Ambientale		
	Escavatorista	Operatore a terra	Rampa di accesso	Esterno vasca	Esterno capannone	Area di preconfinamento
Benzene	0.98	1.81	0.338	3.71	n.d.	15.69
Toluene	0.56	1.08	0.133	2.25	n.d.	9.98
Etilbenzene	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.20
o,p,m-xilene	0.34	0.75	n.d.	1.60	n.d.	4.14
Cumene	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Propilbenzene	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
1,2,4 e 1,3,5-trimetilbenzene	n.d.	0.09	n.d.	0.18	n.d.	0.35
Naftalene	0.13	0.30	—	—	—	—

n.d. = il valore è al di sotto del limite di rilevabilità del metodo

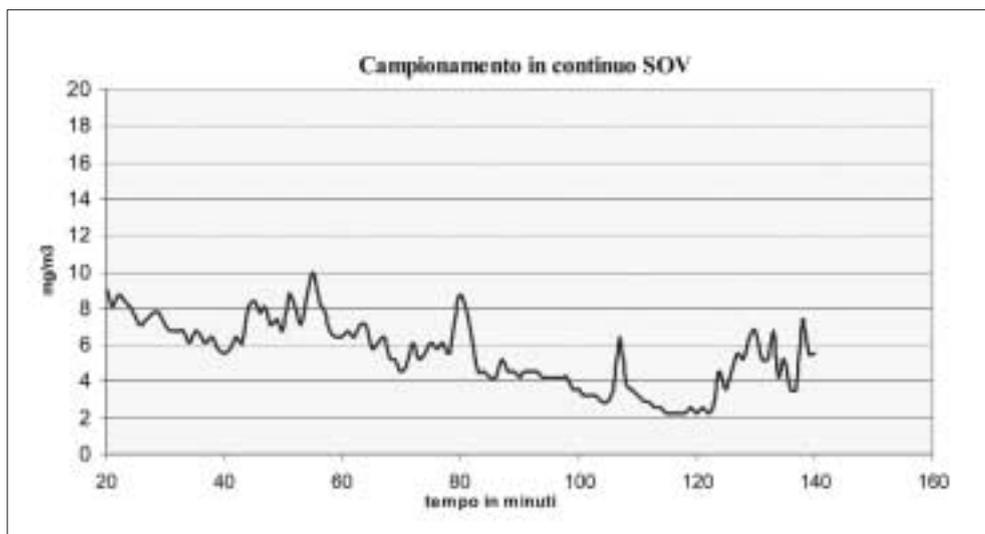


Figura 56: Campionamento istantaneo dei SOV Totali

Le concentrazioni degli agenti chimici rilevati dai campionamenti personali durante questa fase sono più alti rispetto a quella precedente (rottura della soletta). In particolare la mansione di

operatore a terra presenta un livello di esposizione più alto rispetto a quella dell'escavatorista (figura 57) giustificabile considerando che opera all'interno di una cabina chiusa, priva di un sistema di filtraggio dell'aria, ed in una postazione arretrata rispetto alla vasca (figura 58).

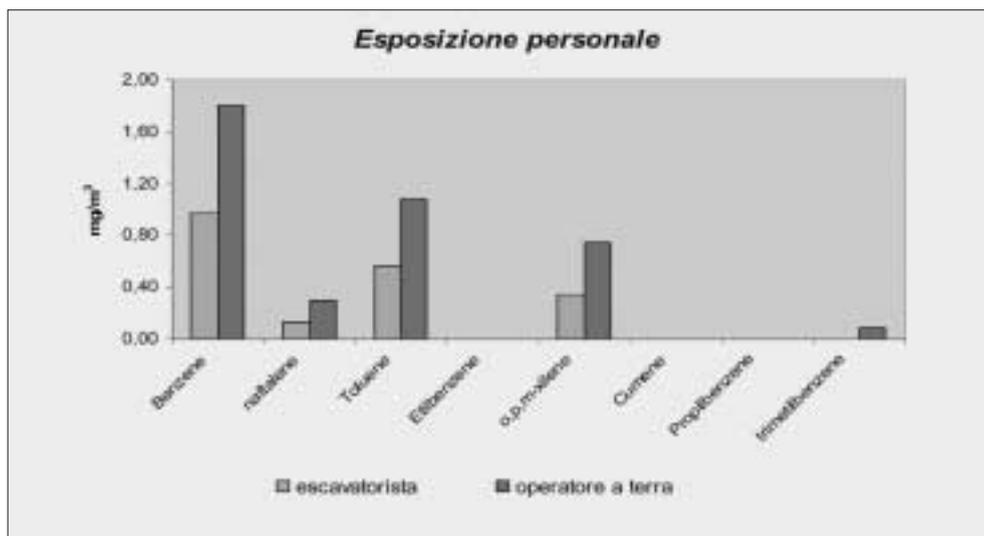


Figura 57: Esposizione professionale ai singoli SOV



Figura 58: Postazione dell'escavatorista in cabina

I campionamenti ambientali sono stati effettuati a distanza diversa dalla vasca di bonifica, e le concentrazioni rilevate degli inquinanti diminuiscono mano a mano che ci si allontana da essa sino a diventare quasi nulli all'esterno del capannone. L'unico valore considerevole è quello ottenuto nell'ambiente preconfinato, in cui si hanno risultati addirittura superiori a quelli riscontrati a bordo vasca. Tale situazione trova giustificazione nel fatto che la zona confina direttamente con il capannone in cui vengono effettuate le attività di bonifica ed è priva di un sistema di aspirazione dell'aria, per cui si possono generare fenomeni di concentrazione localizzata degli inquinanti.



Figura 59: Preconfinamento

Fase di rimozione catrame

La fase di rimozione del catrame precedentemente mescolato viene eseguita dall'escavatorista e dall'operatore a terra.



Figura 60: Catrami

Sono stati effettuati sia campionamenti personali che ambientali all'interno e all'esterno del capannone. Nelle tabelle 10 A e B sono riportate le concentrazioni medie in mg/m³ dei singoli inquinanti.

Tabella 10A: Valori dei campionamenti personali (concentrazione dei singoli inquinanti in mg/m³)

Analiti	Operatore a terra				Escavatorista		
	<i>Media</i>				<i>Media</i>		
Benzene	6,77	7,19	6,98	1,73	4,64	6,55	4,31
Toluene	5,13	4,80	4,97	1,18	3,21	4,23	2,87
Etilbenzene	0,13	0,02	0,08	0,00	0,00	0,08	0,03
o,p,m-xilene	4,49	2,39	3,44	0,81	2,64	1,79	1,75
Cumene	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Propilbenzene	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
1,2,4 e 1,3,5-trimetilbenzene	0,74	0,31	0,53	n.d.	0,04	0,15	0,06
Naftalene	0,68	-	0,68	n.d.	0,28	-	0,14

- non campionato; n.d. = il valore è al di sotto del limite di rilevabilità del metodo

Tabella 10B: Valori dei campionamenti ambientali (concentrazione dei singoli inquinanti in mg/m³)

Analiti	Esterno vasca	Rampa di accesso	Esterno capannone	Area di preconfinamento	Sistema aspirazione
Benzene	1.43	0.32	n.d.	13.11	14.31
Toluene	0.96	0.20	n.d.	8.96	13.35
Etilbenzene	n.d.	n.d.	n.d.	0.2	0.29
o,p,m-xilene	0.65	0.13	n.d.	4.51	5.95
Cumene	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Propilbenzene	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
1,2,4 e 1,3,5-trimetilbenzene	n.d.	n.d.	n.d.	0.25	0.42-
Naftalene	0.16	n.d.	0.40	-	-

- non campionato; n.d. = il valore è al di sotto del limite di rilevabilità del metodo

I livelli di concentrazione ottenuti in questa fase sono più elevati rispetto a quelle precedenti. Questo dato può essere dovuto al mescolamento continuo del catrame che facilita la dispersione in aria delle sostanze chimiche più volatili. I campionamenti personali confermano la maggiore esposizione dell'operatore a terra rispetto all'escavatorista e prelievi ambientali (figura 61) evidenziano l'andamento decrescente delle concentrazioni degli inquinanti dall'interno vasca verso l'esterno del capannone ad eccezione della zona di preconfinamento e della zona in prossimità del sistema di aspirazione. Tale risultato può essere imputato ai flussi d'a-

ria che si vengono a creare nelle immediate vicinanze delle bocchette di aspirazione in cui si possono creare delle zone di ricircolo nelle quali si accumulano gli inquinanti.

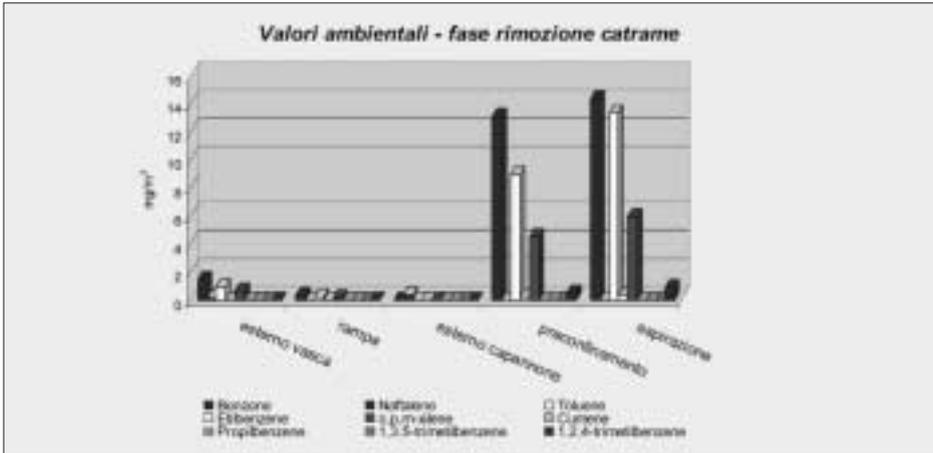


Figura 61: Valori medi dei campionamenti ambientali dei singoli SOV

Fase di pulitura

La fase di pulizia delle vasche prevede l'utilizzo di lance a getto d'acqua ad alta pressione. Tale operazione viene effettuata da due lavoratori addetti alla bonifica.



Figura 62: Raschiatura delle apreti



Figura 63: Particolare della pulizia con lance ad acqua

Durante tale lavorazione sono stati effettuati campionamenti sia personali che ambientali, dei quali si riportano i valori medi in tabella seguente (Tabella 11).

Tabella 11: Valori dei campionamenti personali e ambientali. Concentrazione dei singoli inquinanti in mg/m³

Analiti	Personale Addetto alla pulizia			Ambientale Interno vasca		
			Media			Media
Benzene	n.d	0,96	0,48	0,93	1,09	1,01
Toluene	n.d	n.d	n.d	0,58	0,78	0,68
Etilbenzene	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
p,m-xilene	n.d	n.d	n.d	0,37	0,50	0,44
o-xilene	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Naftalene	n.d	n.d	n.d	1,08	1,31	1,20

n.d. = il valore è al di sotto del limite di rilevabilità del metodo

La fase di lavaggio delle vasche con getti di acqua espone i lavoratori a livelli di inquinanti più bassi rispetto alle due fasi precedenti, sia per la ridotta presenza dei catrami (solo come residui sulle pareti), sia per l'effetto del lavaggio prodotto dalle lance ad acqua.

Vasca lato nord

Terminata la bonifica della vasca centrale sono state condotte ulteriori opere riguardanti le due vasche attigue nel lato nord e nel lato sud. Le fasi lavorative eseguite e le mansioni coinvolte sono state le medesime della vasca centrale.

Fase di rimozione della soletta



Figura 59: Rottura della soletta

Nella tabella seguente (Tabella 12) si riportano i dati relativi alle indagini ambientali e personali effettuate mediante adsorbimento su fiala, durante la prima fase di lavorazione nella vasca nord.

Tabella 12: **Campionamenti personali e ambientali (Concentrazione dei singoli inquinanti in mg/m³)**

Analiti	Personale		Ambientale	
	<i>Operatore a terra</i>	<i>Escavatorista</i>	<i>Esterno vasca</i>	<i>Esterno capannone</i>
Benzene	n.d.	n.d.	0.58	n.d.
Toluene	n.d.	n.d.	0.23	n.d.
Etilbenzene	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
p,m-xilene	n.d.	n.d.	0.10	n.d.
o-xilene	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Naftalene	n.d.	n.d.	0.85	n.d.

n.d. = il valore è al di sotto del limite di rilevabilità del metodo

Dai risultati sopra esposti si evidenziano bassi valori dei singoli inquinanti come già emerso nella campagna precedente.

Fase di rimozione catrame

Ulteriori campionamenti ambientali e personali sono stati eseguiti durante la fase di rimozione del catrame nella vasca nord.



Figura 65: Trasporto dei catrami prelevati sul fondo della vasca verso l'apertura

Si riportano nelle tabelle seguenti i valori medi ottenuti.

Tabella 13A: **Campionamenti personali (concentrazione dei singoli inquinanti in mg/m³)**

Analiti	Operatore a terra			Escavatorista
	Media			
Benzene	8,46	11,17	9,82	2.43
Toluene	5,39	7,42	6,41	1.47
Etilbenzene	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
p,m-xilene	2,60	4,22	3,41	0,64
o-xilene	0,55	0,96	0,76	n.d.
Naftalene	1,73	3,92	2,83	n.d.

Tabella 13B: **Campionamenti ambientali (concentrazione dei singoli inquinanti in mg/m³)**

Analiti	Esterno vasca		Interno vasca		Esterno capannone
	Media				
Benzene	5,19	1,09	3,14	0,76	n.d.
Toluene	0,62	n.d.	0,31	0,70	n.d.
Etilbenzene	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
p,m-xilene	n.d.	0,19	0,10	0,55	n.d.
o-xilene	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Naftalene	n.d.	n.d.	n.d.	1,76	n.d.

I valori per l'operatore a terra (figura 66) e per il campionamento ambientale effettuato all'interno della vasca lato nord (figura 67), sono particolarmente elevati rispetto a quelli misurati nella stessa fase di lavorazione nella vasca centrale. Probabilmente sia l'entità della lavorazione sia la presenza di vasche attigue in corso di bonifica che lo stato fisico del catrame di partenza hanno contribuito ad un aumento dei livelli di inquinamento. Il catrame rilevato in questa vasca presentava un basso contenuto della componente terrosa, mentre quello presente nelle altre 3, pur avendo la stessa composizione, in alcuni casi era mescolato con terra e detriti che di fatto diluiva le esposizioni (vasca lato sud).

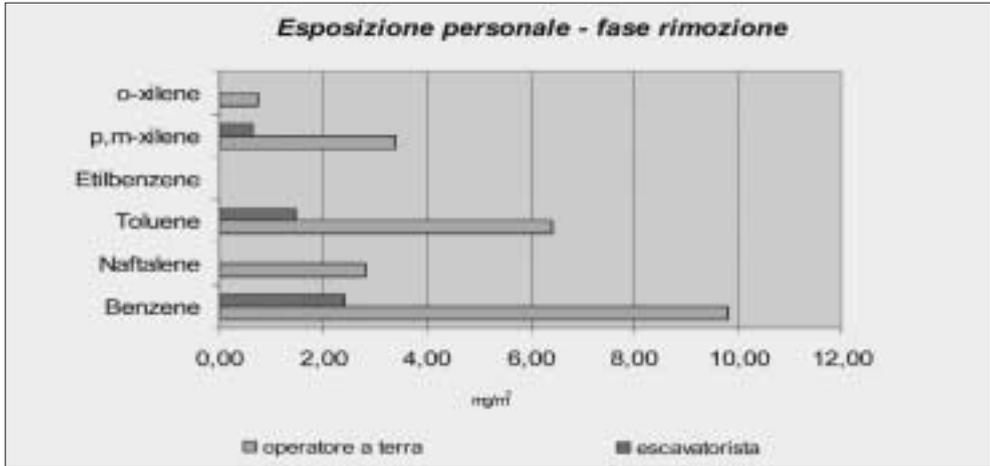


Figura 66: Campionamenti personali dei singoli SOV

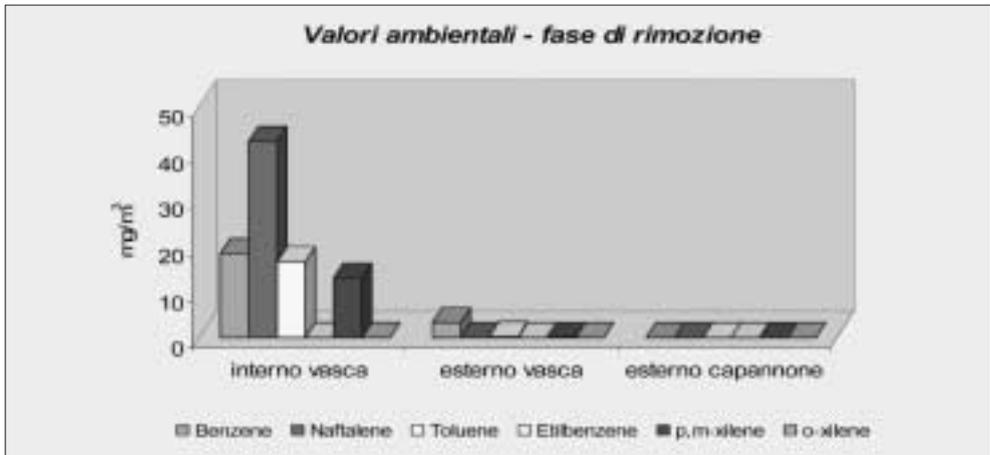


Figura 67: Campionamenti ambientali ai singoli SOV nella vasca lato nord

Fase di pulizia

I prelievi, sia ambientali che personali, eseguiti durante la fase di pulizia e riportati in tabella 14, confermano le aspettative, ossia evidenziano bassi livelli di inquinamento.



Figura 68: Pulizia interno vasca

Tabella 14: Campionamenti personali e ambientali (concentrazione dei singoli inquinanti in mg/m^3)

Analiti	Personale	Ambientale
	Addetto pulizia	Esterno vasca
Benzene	0.48	n.d.
Toluene	n.d.	n.d.
Etilbenzene	n.d.	n.d.
p,m-xilene	n.d.	n.d.
o-xilene	n.d.	n.d.
Naftalene	n.d.	n.d.

n.d. = il valore è al di sotto del limite di rilevabilità del metodo

Esaminando le stesse fasi lavorative in tutte le vasche si evidenzia che i risultati analitici ottenuti durante tutta la campagna di monitoraggio hanno gli stessi livelli di esposizione per i singoli inquinanti. E' comunque evidente un pericolo d'esposizione agli inquinanti presenti in maggiore concentrazione quali: benzene, naftalene, toluene e xileni.

INTERPRETAZIONE DEI RISULTATI

Il benzene è classificato dallo IARC (International Agency for Research on Cancer) nel gruppo 1 (*cancerogeno per l'uomo*) il naftalene nel gruppo 2 B (*possibile cancerogeno per l'uomo*), mentre toluene e xileni sono classificati nel gruppo 3 (*non cancerogeni per l'uomo*). Nelle tabelle seguenti sono riportati i valori limite di esposizione professionale dell'ACGIH 2005 (American conference of governmental Industrial Hygienists) e della normativa italiana ed europea.

Tabella 15: Valori limite definiti dalla direttiva della Commissione Europea 2006/15/CE del 7.2.2006

Inquinanti	Esposizione su 8 ore (mg/m ³)	Esposizione su 15 min (mg/m ³)
Toluene	192	384

Tabella 16: Valori limite riportati nell'allegato VIII-bis del D.Lgs, 626/94

Inquinanti	Esposizione su 8 ore (mg/m ³)
Benzene	3,25

Tabella 17: Valori limite riportati nell'allegato VIII-ter del D.Lgs, 626/94

Inquinanti	Esposizione su 8 ore (mg/m ³)	Esposizione su 15 min (mg/m ³)
o-xilene	221	442
p,xilene	221	442
m,xilene	221	442
Etilbenzene	442	884
Cumene	100	-
1,3,5 trimetilbenzene	100	-

Tabella 18: Valori limite di esposizione ACGIH 2005

Inquinanti	TLV-TWA (mg/m ³)	STEL (mg/m ³)
Benzene	1.6	8
Naftalene	52	79
Toluene	188	
Xileni	434	

Dalla nostra indagine è stato evidenziato un maggior contenuto di benzene rispetto agli altri SOV presenti, questo può essere attribuito alla sua più elevata volatilità e tale risultato può essere preoccupante in considerazione delle sue caratteristiche tossicologiche.

Tra le diverse fasi lavorative indagate quella del mescolamento del catrame è risultata più a rischio. Durante tale operazione, infatti, l'esposizione professionale a benzene dell'operatore a terra raggiunge valori medi di concentrazione pari a $8,40 \text{ mg/m}^3$ (dv.st 1,98), mentre, nella stessa fase, la mansione di escavatorista presenta valori medi pari a $3,37 \text{ mg/m}^3$ (dv.st 2,19). L'esposizione professionale a benzene per entrambe le mansioni è dunque di gran lunga superiore ai limiti espositivi esistenti sia a livello nazionale (all'allegato VIII bis del D.Lgs. 626/94 per la protezione da agenti cancerogeni) che internazionale, con valori rilevanti per l'operatore a terra.

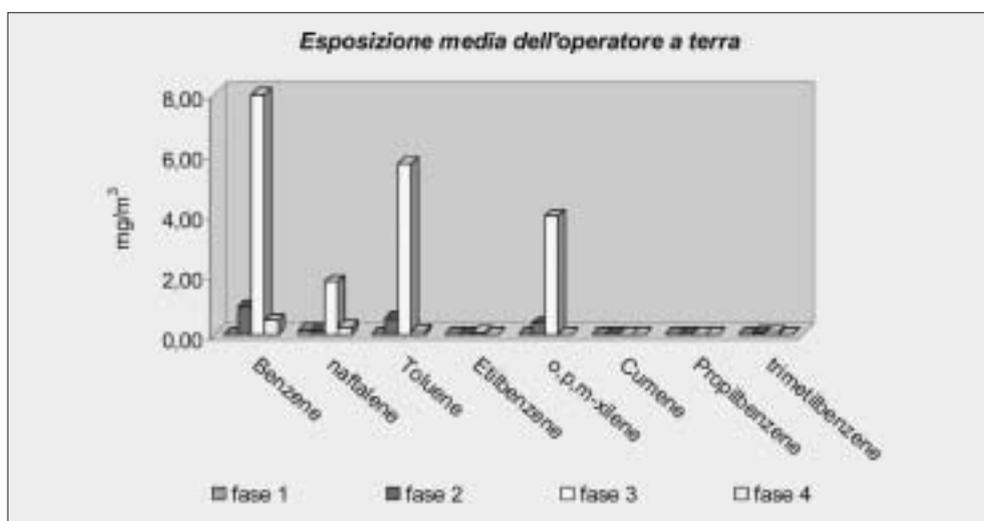


Figura 69: Esposizione media della mansione di operatore a terra durante la fase di rimozione del catrame

L'esposizione professionali agli altri inquinanti, individuati in maggiore concentrazione, quali: toluene, xlene e naftalene è, invece, inferiore ai rispettivi limiti esistenti.

BONIFICA DELLE VASCHE ADIACENTI AL CAPANNONE

Una volta completata la bonifica delle tre vasche presenti in area confinata R1 si è reso necessario intervenire su ulteriori quattro vaschette comunicanti ritrovate durante il corso dei lavori nell'area adiacente al capannone lungo il fabbricato ex "sala estrattori". Tali vaschette avevano una dimensione totale di 27 m (lunghezza) x 2,5 m (larghezza) x 3,5 m (profondità), contenevano catrami di caratteristiche simili a quelli trovati nelle vasche site in area R1 e per tale motivo sono state scelte modalità di intervento simili a quelle utilizzate in precedenza. È stato realizzato un confinamento di dimensioni 11x27x7,5m. La vasca risultante dall'unione delle quattro vaschette conteneva i seguenti materiali stratificati:

- uno strato superiore composto principalmente da acqua di origine meteoriche;
- uno strato intermedio costituito da catrami;
- uno strato di fondo costituito da una miscela di catrami e materiali terrosi



Figura 70: Confinamento vaschette



Figura 71: Bonifica vaschette



Figura 72: Catrame presente nella bonifica vaschette

Modalità dell'intervento

La rimozione del materiale contenuto nella vasca è avvenuta operando dall'esterno, con escavatore dotato di benna rovescia all'interno di un'area confinata appositamente realizzata con la finalità di garantire protezione rispetto alle precipitazioni atmosferiche e prevenire l'impatto ambientale di eventuali emissioni odorigene. Per assicurare un adeguato ricircolo dell'aria interna alla copertura è stato allestito un impianto di ventilazione con un ventilatore da 7.000 m³/ora collegato, per lo scarico, alla struttura di confinamento, già allestita per le lavorazioni sulle vasche del sito R1.

Il materiale catramoso misto a terra, ma non perfettamente palabile, è stato addensato mediante miscelazione con segatura.

Completato lo svuotamento della vasca è stata effettuata, la pulizia e la demolizione delle pareti e del fondo della vasca stessa; anche i rifiuti provenienti dalla demolizione sono stati destinati allo smaltimento.

Tabella 19: Risultati dell'indagine ambientale effettuati in data 14-02-2006 dalla ditta CM cantieri Moderni

Sostanza	Escavatorista (mg/m ³)	Uomo a terra (mg/m ³)	Ambientale vasca (mg/m ³)
Acenaftene	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Acenaftilene	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Antracene	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Benzo(a)antracene	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Benzo(a)pirene	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Benzo(a)fluorantene	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Benzo(g,h,i)perilene	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Benzo(k)fluorantene	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Crisene	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Dibenzo(a,h)antracene	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Fenantrene	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Fluorantene	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Indeno(1,2,3)pirene	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Naftalene	<0.0001	0.001	<0.0001
Pirene	<0.0001	<0.0001	<0.0001
2-metilnaftalene	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Benzene	0.004	0.004	<0.0001

I dati riscontrati dalla ditta in tale bonifica risultano essere notevolmente inferiori rispetto alle bonifiche precedenti in quanto: l'impianto di aspirazione agendo su un confinamento più piccolo poteva garantire un flusso di aria più omogeneo. Le misure ambientali effettuate nell'area confinata R1 evidenziavano in più momenti della bonifica il formarsi di zone di accumulo degli inquinanti determinate certamente da una maggiore produzione di vapori (la massa bonificata era più grande, la superficie di evaporazione diventava sempre più ampia con il progredire della bonifica, inoltre utilizzando la vasca centrale come vasca di mescolamento dei catrami con la segatura di fatto aumentavano le emissioni nocive). Le misure ambientali e personali realizzate durante la bonifica della vasca comunicante mostrano che i livelli di esposizione dei lavoratori sono stati fortemente ridotti in quanto le misure primarie di abbattimento dei vapori prodotti e le caratteristiche dei materiali hanno consentito di abbattere in modo efficace le concentrazioni degli inquinanti.

SCelta E VERIFICA DEI DISPOSITIVI DI PROTEZIONE INDIVIDUALI

Durante tutte le fasi indicate i lavoratori indossano dispositivi di protezione individuali DPI, quali: scarpe antinfortunistiche, respiratore pieno facciale a ventilazione assistita provvisto di filtri combinati per vapori organici, inorganici e polveri, tuta a perdere in Tyvek, guanti, stivali impermeabili.

Le lavorazioni sono organizzate su turni di 90'. Vengono effettuati da tre a quattro turni per giornata lavorativa.

I dispositivi di protezione individuale adottati sono stati i seguenti:

- maschera pieno-facciale elettroventilata dotata di filtro per vapori organici e polveri;
- tuta monouso;
- indumenti di protezione per atmosfere infiammabili/esplosive;
- stivali di sicurezza resistenti agli idrocarburi;
- guanti di sicurezza;
- dosimetro personale per rilievo di NH_3 , CO , O_2 , VOC, % LEL.
- Elmetto
- Scarpe antinfortunistiche
- Cintura di sicurezza



Figura 73: Dispositivi di protezione individuali



Figura 74: DPI indossati nelle lavorazioni all'interno delle vasche

Per la protezione delle vie respiratorie è stata dapprima verificata la possibilità di utilizzare maschere elettroalimentate con filtri antigas e per polveri piuttosto che sistemi molto più problematici da gestire nelle specifiche condizioni di lavoro quali sistemi a presa di aria esterna. L'impianto di ventilazione generale e le condizioni operative garantivano livelli di ossigeno sufficienti per poter utilizzare le maschere elettroalimentate.

I lavoratori hanno indossato all'interno dell'area R1 sempre maschere elettroalimentate con filtri di tipo combinato per polveri e antigas multi-tipo. Il Servizio Pre.S.A.L alla luce dei livelli di concentrazione emersi dalle numerose indagini ambientali effettuate durante tutte le fasi lavorative e considerando la natura la natura degli inquinanti presenti, ha potuto stimare il tempo di durata dei filtri da indossare, di concerto con la ditta che ha eseguito i lavori ed utilizzando software di previsione NIOSH, di cui si riportano le condizioni operative:

Temperatura = 25°C

Pressione atmosferica = 1atm

Umidità relativa = 50%

Numero di cartucce:1

Inquinante: benzene

Flusso respiratorio: 30 L/min

Concentrazione media del vapore: 100 mg/m³

Tempo calcolato dal programma breakthrough NIOSH: 92 min

Alla luce di tali calcoli, che stimano un valore di breakthrough di 92 min, nelle condizioni operative della bonifica, si è predisposto di sostituire i filtri ogni cambio turno di 90' al fine di garantire la tutela dei lavoratori esposti.

Il software utilizzato consente di stimare i tempi di saturazione dei filtri a carbone attivo, tenendo conto di:

- tipologia di lavorazione (leggera, faticosa pesante) in quanto tale parametro incide sul flusso respiratorio;
- temperatura di lavoro;
- umidità relativa (aumentando l'umidità diminuisce il tempo di durata del filtro);
- numero di filtri montati dalla maschera (se è presente una cartuccia il tempo di durata è inferiore rispetta a quella che ne porta due);
- tipo di inquinante: in particolare per le proprie caratteristiche chimico-fisiche il benzene è tra i solventi meno trattenuti e per il quale i tempi di utilizzo dei filtri sono inferiori);
- concentrazione media in aria dell'inquinante da filtrare;
- pressione atmosferica.

Tenuto conto che il software utilizza comunque modelli matematici e non valuta miscele di gas abbiamo considerato in via cautelativa l'esposizione all'inquinante meno trattenuto dai carboni attivi (benzene) e nella concentrazione massima aspettata in aria (ottenuta dalle prove a 50°C) e in condizioni di lavoro di medio affaticamento.

La scelta di utilizzare il modello NIOSH è stata dettata dal fatto che le informazioni previste dai fornitori dei filtri delle maschere non erano sufficientemente accurate da poter garantire i tempi di durata dei filtri. Considerando poi che l'inquinante di maggior rischio era un cancerogeno si è deciso di utilizzare tale modello il quale ci ha fornito tempi di durata molto inferiori rispetto a quelli proposti dal fornitore (il modello propone 92 minuti a fronte di circa 8 ore del fornitore).

PROTOCOLLO SANITARIO PER BENZENE E NAFTALENE

Nell'ambito dell'attività di controllo intrapresa dal Servizio, si colloca anche il rapporto instaurato con il Medico Competente aziendale. E' noto infatti che, la problematica delle sorveglianza sanitaria dei lavoratori esposti ad agenti cancerogeni, è un argomento complesso. La nostra priorità era la ricerca di indicatori biologici che, congiuntamente alle rilevazioni ambientali, potessero essere utilizzabili per una stima realistica dell'esposizione, in corso d'opera. Quanto sopra, anche al fine di valutare l'adeguatezza delle misure di prevenzione e protezione programmate. Infatti la ricerca delle sostanze o di loro metaboliti nei liquidi biologici è attualmente lo strumento più efficace, per valutare, con sufficiente attendibilità, l'assorbimento di sostanze tossiche. Inoltre gli indicatori di dose interna tengono conto non solo dell'inalazione, ma anche dell'assorbimento cutaneo. Naturalmente, trattandosi di un contesto operativo solo di breve-medio periodo, sono stati scelti quegli indicatori che potessero rappresentare la situazione tempestivamente, vale a dire: i fenoli urinari totali di fine turno per il benzene, e l'idrossibenzopirene urinario di fine turno per gli I.P.A. Detti indicatori sono stati ricercati: al tempo zero, vale a dire prima dell'inizio dell'esposizione; dopo una settimana dall'inizio dell'esposizione; dopo tre mesi e dopo sei mesi, come rappresentato nella tabella 20.

Tabella 20: **Protocollo sanitario del benzene e naftalene**

Sostanza	Monitoraggio biologico		Periodicità
Benzene	1 dosaggio fenoli urinari fine turno (indicatore di esposizione a fine turno)	2 emocromo conta piastrine conta reticolociti ALT AST GAMMA GT CHE	- Prima dell'inizio attività (tempo 0): 1+2+3
IPA	3 idrossipiene		- Dopo una settimana dall'inizio dell'attività lavorativa: fenoli urinari inizio turno+1+3 - Dopo 2 settimane emocromo - Poi semestrale e a fine lavori

I dati definitivi ed i loro rapporti con la misura dell'inquinamento ambientale, sono in fase di elaborazione da parte del Medico Competente aziendale. Dall'analisi dei dati parziali finora avuti risulta la situazione sotto rappresentata, che testimonia un assorbimento inferiore al 50% dei valori limite di riferimento (tabella 20). I dati monitorati sono stati acquisiti in periodi in cui i livelli di esposizione personale ed ambientale erano significativi (tabella 21) e le lavorazioni riguardavano la vasca lato sud e quella centrale dove si stava completando lo svuotamento.

Tabella 21: Valori del monitoraggio biologico

Lavoratore	Fenoli urinari di fine turno giornaliero mg/L	BEI mg/L	Fenolo/BEI	Idrossipirene urinario ng/L	BEI ng/L	Idrossipirene urinario/BEI
1	14.02	50	28.04 %	131	500	26.2 %
2	12.8	50	25.60 %	101	500	20.2 %
3	14.6	50	29.2 %	46	500	9.2 %
4	10.4	50	20.8 %	60	500	12 %
5	12.8	50	25.60 %	161	500	32.2 %
6	21.1	50	42.2 %	112	500	22.4 %

Tabella 22: Valori del monitoraggio biologico del piombo

Lavoratore	Piombemia $\mu\text{g}/100\text{ ml}$	BEI $\mu\text{g}/100\text{ml}$	Piombemia/BEI
1	7.8	35	22.29 %
2	4.2	35	12 %
3	6.1	35	17.43 %
4	7.9	35	22.57 %
5	6.2	35	17.71 %
6	6.5	35	18.57 %

Tabella 23: Monitoraggio ambientale e personale del benzene e naftalene

Identificazione campione (campionamento dell'23/09/05)	mg/m ³	
	Benzene	Naftalene
1 Personale interno vasca calcolato sulle otto ore per tre turni da 90'	4.33	0.24
2 Personale interno vasca calcolato sulle otto ore per quattro turni da 90'	5.77	0.32
1 Personale interno vasca calcolato sulle otto ore per tre turni da 90'	2.32	0.21
2 Personale interno vasca calcolato sulle otto ore per quattro turni da 90'	3.10	0.28
1 Personale operatore II fase calcolato sulle otto ore per tre turni da 90'	7.93	0.89
2 Personale operatore II fase calcolato sulle otto ore per quattro turni da 90'	10.58	1.19
1 Personale operatore II fase calcolato sulle otto ore per tre turni da 90'	6.39	0.62
2 Personale operatore II fase calcolato sulle otto ore per quattro turni da 90'	8.52	0.83
1 Ambientale vicino vasca	0.74	0.02
2 Ambientale vicino vasca	0.99	0.03
1 Ambientale lontano vasca	0.07	-
2 Ambientale lontano vasca	0.10	-

CONCLUSIONI

Sulla base delle risultanze delle indagini ambientali effettuate attraverso sistemi di campionamento attivo e con strumentazione a lettura diretta e attraverso i riscontri dei sopralluoghi e delle verifiche effettuate sugli impianti, e sui dispositivi di protezione individuale dei lavoratori, si possono formulare le seguenti conclusioni.

La natura dell'opera espone i lavoratori a livelli elevati di sostanze cancerogene quali benzene e naftalene soprattutto durante le lavorazioni che avvengono all'interno dell'area confinata e in prossimità delle vasche. In particolare l'operatore che si trova a terra è esposto a contaminanti con livelli maggiori rispetto a quello che si trova sull'escavatore per il quale l'esposizione professionale è paragonabile ai valori ambientali limitrofi. I monitoraggi ambientali e personali effettuati nelle vasche in area R1 e in quella trovata sul suo perimetro mostrano che durante le attività della bonifica dei catrami le misure di prevenzione e protezione adottate quali l'organizzazione del lavoro e la realizzazione di un impianto di abbattimento delle emissioni nocive non possono comunque garantire livelli di rischio accettabili. Infatti per quanto riguarda le lavorazioni avvenute in area R1 i volumi di aria da filtrare erano molto elevati, potevano facilmente formarsi zone di ristagno degli inquinanti (come rilevato dai campionamenti ambientali indoor) causate anche dalla geometria dell'impianto e dalla presenza di mezzi all'interno del cantiere che costituivano delle vere e proprie barriere. Inoltre le lavorazioni effettuate in galleria hanno aumentato i livelli di esposizione dei lavoratori ed anche la quantità di catrami rimossi, mescolati e movimentati nelle vasche e nella vasca centrale hanno contribuito all'evaporazione delle sostanze. In questo caso ha assunto un ruolo strategico l'utilizzo dei dispositivi di protezione individuali adeguatamente scelti in funzione delle caratteristiche tecniche. Inoltre per il corretto utilizzo sono stati valutati i tempi di sostituzione dei sistemi filtranti.

Le lavorazioni di bonifica effettuate successivamente sulle quattro vasche comunicanti hanno messo in luce come un sistema di abbattimento su un'area di lavorazione più ridotta senza lavorazioni in tunnel ha consentito di ridurre fortemente le esposizioni e di contenere i livelli di inquinanti aerodispersi.

Tutte le misure degli inquinanti monitorati all'interno del cantiere, ma all'esterno dell'area confinata mostrano, anche nelle fasi di maggiore emissione degli inquinanti, livelli di inquinamento al di sotto dei limiti di rilevabilità o in piccole tracce per l'efficacia del confinamento statico e dinamico realizzato e per l'impianto di abbattimento dotato di un sistema seriale di carboni attivi.

Il lavoro presentato ha visto coinvolte tutte le figure della prevenzione a difesa dei lavoratori addetti alla bonifica. Il Servizio Pre.S.A.L. della ASL RMC nel suo ruolo di vigilanza sul territorio ha potuto assistere l'intera opera con l'essenziale collaborazione della Consulenza tecnica dell'INAIL la quale ha consentito di effettuare preziose determinazioni analitiche per la valutazione dell'esposizione professionale a solventi organici volatili dei lavoratori.

La peculiarità dell'intervento (senza precedenti nel territorio romano) ha richiesto l'impiego di più figure professionali e tecniche che hanno permesso di studiare il problema della bonifica da più punti di vista (infortunistico e dell'igiene del lavoro), utilizzare i risultati ottenuti per definire correttamente le procedure di lavoro, mettere a punto di volta in volta le misure di prevenzione e protezione aggiornando anche la valutazione dei rischi e costituire un prezioso precedente per opere di analoga natura.

BIBLIOGRAFIA

- 1) IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans: *Polynuclear aromatic compounds*, Part 4: bitumens, coal-tars and derived products, shale-oils and soots (1985). Vol. 35. 135- 430.
- 2) IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, Polynuclear aromatic compounds, Part 3: industrial exposures in aluminium production, coal gasification, coke production, and iron and steel founding (1984). Vol. 34. :65-99.
- 3) Boffetta P, Jourenkova, Gustavsson P.: *Cancer risk from occupational and environmental exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons*. *Cancer causes control*; 1997 8(3): 444-72.
- 4) Hong L, Ghosh U, Zare RN, Luthy RG.: *PAH sorption mechanism and partitioning behaviour in lampblack-impacted soils from former oil-gas plant sites*. *Environ Sci Technol*;2003; 37 (16):3625-34.
- 5) M. I. Barra, F.D'Orsi, D. De Grandis, G. Novembre, E. Pietrantonio, M. Pignani, P. Ricciardi, P. S. Soldati: *Sostanze chimiche pericolose e cancerogene nell'attività di bonifica di residui catramosi del processo di gasificazione del carbon fossile*. Atti del XXIII Congresso nazionale AIDII – Bologna 22-24 Giugno 2005.
- 6) D.Lgs. 626/94 Attuazione delle direttive 89/391/CEE, 89/654/CEE, 89/655/CEE, 89/656/CEE, 90/270/CEE, 90/679/CEE, 93/88/CEE, 95/63/CE, 97/42/CE, 98/24/CE, 99/38/CE, 2001/45/CE, 99/92/CE riguardanti il miglioramento della sicurezza e della salute dei lavoratori durante il lavoro. S.O. n.141 alla G.U. n.265 del 12.11.1994
- 7) American Conference of governmental industrial Hygienists (ACGIH), *Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents and Biological Exposure Indices*. Compiled By the American Conference of Governmental Industrial Hygienist, Cincinnati, Ohio, 2005.

