



ISPRA
Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale

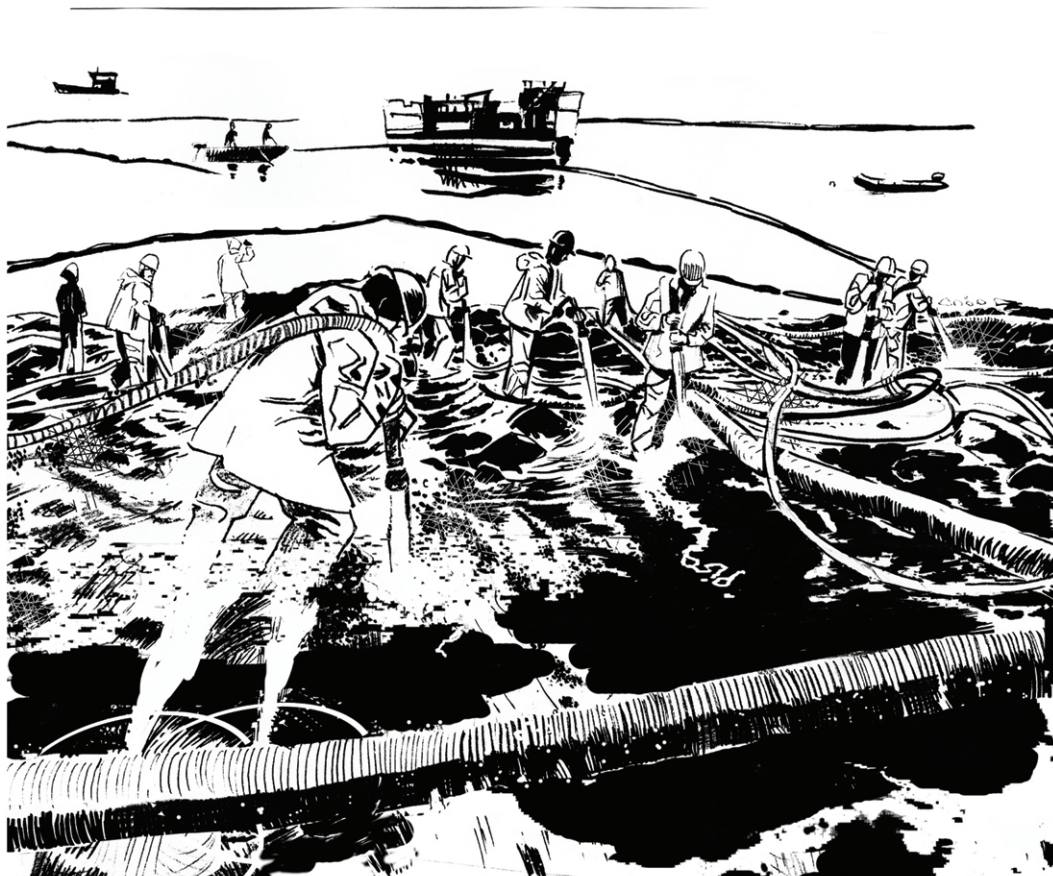
MINISTERO DELL'AMBIENTE
E DELLA TUTELA DEL TERRITORIO E DEL MARE



QUADERNI delle EMERGENZE

02 AMBIENTALI IN MARE

La bonifica delle coste interessate dallo spiaggiamento di idrocarburi



Informazioni legali

L'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA) e le persone che agiscono per conto dell'Istituto non sono responsabili per l'uso che può essere fatto delle informazioni contenute in questo quaderno.

I Quaderni sono stati realizzati dal Servizio Emergenze Ambientali in Mare dell'ISPRA, nell'ambito del progetto "Supporto alle Emergenze in Mare", finanziato dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, Divisione VII "Difesa del mare dagli inquinamenti".

MATM - Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, Direzione Generale per la Protezione della Natura e del Mare.
Via Cristoforo Colombo 44 - 00147 Roma
www.minambiente.it

ISPRA - Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale
Via Vitaliano Brancati, 48 - 00144 Roma
www.isprambiente.gov.it

Allegato al Quaderno - Ricerca Marina ISPRA n. 6/2014

Riproduzione autorizzata citando la fonte

Elaborazione grafica

Franco Iozzoli, Alessia Marinelli, Elena Porrazzo, Sonia Poponessi (ISPRA - Ufficio Grafica)

Coordinamento tipografico Daria Mazzella (ISPRA - Settore Editoria)

Amministrazione Olimpia Girolamo (ISPRA - Settore Editoria)

Distribuzione Michelina Porcarelli (ISPRA - Settore Editoria)

Marzo 2014

Autori

Valerio Sammarini, Pierpaolo Giordano, Stefano Di Muccio, Michela Mannozi e Luigi Alcaro (ISPRA)

Hanno collaborato

Giuseppe Italiano, Massimo Avancini, Irene Di Girolamo, Stefania Sacripanti
Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare - Direzione Generale per la Protezione della Natura e del Mare

Aurelio Caligiore, Rodolfo Giovannini, Gabriele Peschiulli, Vincenzo Ventra
Reparto Ambientale Marino del Corpo delle Capitanerie di Porto

Fotografie: Pierpaolo Giordano (ISPRA)

Illustrazioni di copertina: Marco Pisapia (ISPRA)



ISPRA
Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale

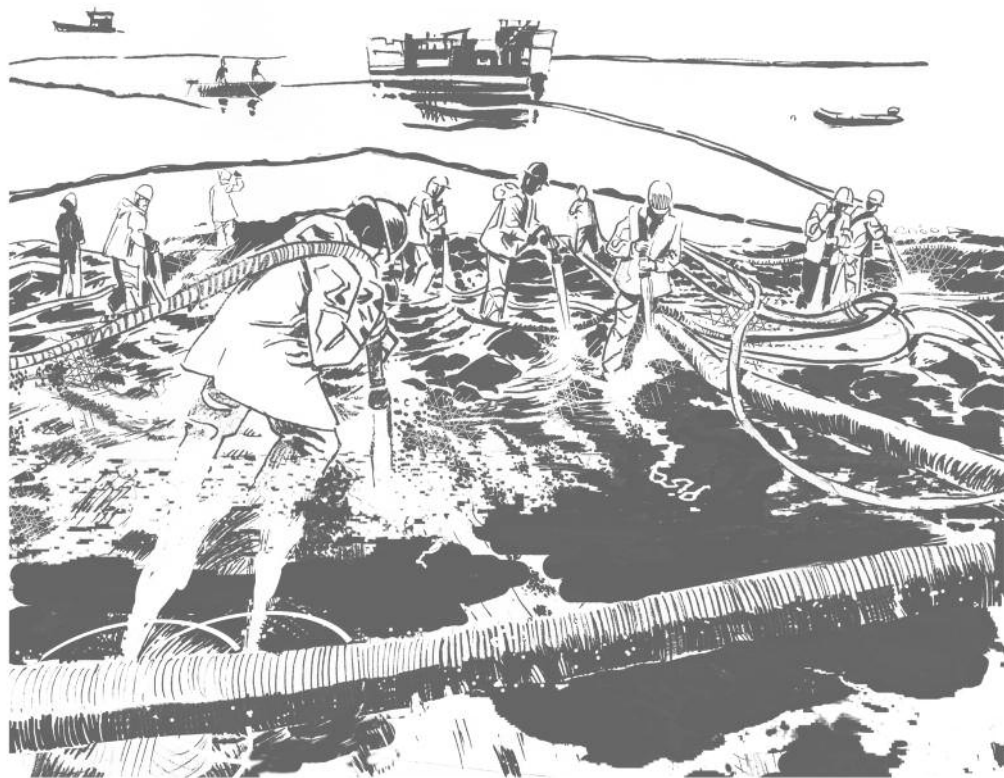
MINISTERO DELL'AMBIENTE
E DELLA TUTELA DEL TERRITORIO E DEL MARE



QUADERNI delle EMERGENZE

02 AMBIENTALI IN MARE

La bonifica delle coste interessate dallo spiaggiamento di idrocarburi



SOMMARIO

1. INTRODUZIONE	1
2. VALUTAZIONE INIZIALE DELLO STATO DELLE COSTE	5
3. STRATEGIE E PRINCIPI PER UNA EFFICACE BONIFICA DELLE COSTE	12
3.1 Aspetti strategici da considerare	12
3.1.1 Quando iniziare la bonifica	13
3.1.2 Recupero preventivo dei materiali solidi non contaminati	15
3.1.3 Scelta della tecnica di bonifica	17
3.1.4 Le due fasi della bonifica dei litorali	21
3.1.5 Sino a quando bonificare?	23
3.1.6 Minimizzazione e segregazione del rifiuto prodotto	25
3.2 Organizzazione attività	30
4. SICUREZZA E SALUTE	36
4.1 Dispositivi di protezione individuale (DPI)	37
4.1.1 Protezione delle vie respiratorie	39
5. ORGANIZZAZIONE DELL'AREA DI LAVORO	43
5.1 Sistemi di decontaminazione di personale e attrezzature	47
5.2 Area di stoccaggio temporaneo dei rifiuti	51
6. BONIFICA DELLE COSTE ROCCIOSE	53
6.1 Preparazione dell'area di bonifica	54
6.2 Bonifica con idropulitrice	56
6.2.1 Zone in cui è sconsigliato l'uso dell'idropulitrice	59
6.2.2 Uso dei materiali assorbenti	59
7. BONIFICA DELLE COSTE GHIAIOSE E CIOTTOLOSE	62
7.1 Raccolta manuale	63
7.2 Allagamento e dilavamento (<i>flooding and flushing</i>)	66
7.3 Pulizia in gabbia	71
7.4 Lavaggio in betoniera	74
7.4.1 Lavaggio in vasca	77

8. BONIFICA DELLE COSTE SABBIOSE	79
8.1 Raccolta manuale	82
8.2 Recupero meccanico	85
8.3 Raccolta dell'olio con setaccio meccanico	89
8.4 Recupero con le reti	92
8.5 Allagamento e dilavamento (<i>flooding and flushing</i>)	94
9. GLOSSARIO DEI TERMINI	95
10. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI	97

1. INTRODUZIONE



Il presente quaderno è principalmente focalizzato alle operazioni di bonifica (*cleanup*) di coste interessate dallo spiaggiamento di idrocarburi. Esso è dedicato alle Istituzioni che, per norma, si attivano e successivamente coordinano le azioni di lotta all'inquinamento in mare e sulla costa, con particolare riferimento alle competenti Autorità dei Compartimenti Marittimi, alle Prefetture e agli Enti locali dell'area in cui avviene l'incidente. Questi Enti assumono il coordinamento delle attività sulla base del "Piano Operativo di Pronto Intervento per la difesa del mare e delle zone costiere dagli inquinamenti accidentali da idrocarburi e altre sostanze nocive" del Ministero dell'Ambiente della Tutela del Territorio e del Mare e del "Piano di pronto intervento nazionale per la difesa da inquinamenti di idrocarburi o di altre sostanze nocive causati da incidenti marini" della Protezione Civile Nazionale.

La fase emergenziale conseguente ad un evento accidentale normalmente si svolge nell'arco di pochi giorni e prevede una serie di attività diverse ma concatenate tra di loro che si svolgono in modo continuativo e che determinano quindi un grande carico di lavoro per tutti i comparti coinvolti. **Si consiglia, pertanto, di leggere il contenuto del quaderno prima del verificarsi dell'evento, per aumentare l'efficacia degli interventi.** Si suggerisce anche la lettura di manuali e linee guida internazionali riportati in bibliografia

e disponibili sul web.

Il quaderno affronta le principali problematiche che usualmente bisogna prendere in considerazione quando uno sversamento di idrocarburi raggiunge il litorale e cioè:

- La valutazione iniziale dello stato delle coste colpite dall'evento;
- Le strategie e i principi da tenere in considerazione per un'efficace azione di bonifica;
- Gli aspetti legati alla salute e sicurezza degli operatori;
- L'organizzazione dell'area di lavoro;
- Le principali metodologie di bonifica disponibili suddivise per tipologia di litorale (roccioso, ciottoloso, sabbioso).

La valutazione iniziale dello stato delle coste (nota anche con il termine inglese di SCAT, *Shoreline Cleanup Assessment Tool*) è una componente fondamentale della risposta all'inquinamento accidentale da idrocarburi sulle coste che deve essere realizzata nella fase immediatamente successiva allo spiaggiamento. Essa consiste nell'ispezione delle aree interessate dallo spiaggiamento di idrocarburi per la raccolta e la documentazione di tutti i possibili dati sulle condizioni del litorale impattato, in modo rapido, accurato e sistematico. Viene così fornito ai decisori un quadro della situazione, importante per assumere strategie di intervento e per decidere le priorità. L'esperienza passata dimostra che spesso questa fase non viene presa sufficientemente in considerazione, determinando un'azione meno sistematica ed efficace.

Vengono poi riportati alcuni principi generali e aspetti strategici da prendere in considerazione in ogni circostanza e in qualsiasi scenario come:

- Il recupero preventivo dei materiali solidi non contaminati;
- La scelta delle tecniche di bonifica manuale o meccanica;
- La scelta del momento in cui dare avvio all'operazione di bonifica;
- La divisione dell'attività di bonifica in una fase iniziale, grossolana, e una fase

di bonifica di dettaglio;

- La scelta dei criteri per ritenere terminata una fase di bonifica;
- La minimizzazione dei volumi di rifiuto prodotti.

Il giusto approccio metodologico e la corretta osservanza dei principi e strategie, sopra riportati, garantiscono una maggiore efficacia dell'intervento ed evitano, come è spesso successo nel passato, che esso determini un danno ambientale addirittura maggiore di quello provocato dall'inquinamento da

idrocarburi.

Vengono, quindi, presi in considerazione gli aspetti legati all'organizzazione degli operatori, alla loro sicurezza e salute e all'allestimento dell'area di lavoro. Essi sono tutti aspetti determinanti per garantire il successo dell'intervento e per utilizzare in modo efficiente la forza lavoro disponibile, riducendo al contempo i rischi di esposizione e di infortunio.



Figura 1: Schema sintetico delle azioni propedeutiche le attività di bonifica

Nella seconda parte del quaderno vengono descritte le principali tecniche di pulizia che richiedono equipaggiamento e strumenti facilmente reperibili e di semplice funzionamento. Alcune di queste operazioni possono essere realizzate anche da personale che non ha una specifica formazione (volontari della Protezione Civile, personale di aziende municipalizzate).

È sempre opportuno, però, affidare la gestione e supervisione delle attività a personale tecnico specializzato, anche per l'addestramento all'utilizzo di attrezzatura più sofisticata che non ha impiego comune (es. panne di contenimento).

Le tecniche di pulizia sono suddivise in base alla tipologia di litorale: roccioso, ciottoloso o sabbioso. Per ciascuna tecnica vengono riportati i principi fondamentali, le attrezzature necessarie, gli accorgimenti da adottare e gli eventuali possibili impatti sull'ambiente.

2. VALUTAZIONE INIZIALE DELLO STATO DELLE COSTE

La valutazione iniziale dello stato delle coste (nota anche con il termine inglese di SCAT, *Shoreline Cleanup Assessment Tool*) è una componente fondamentale della lotta all'inquinamento accidentale da idrocarburi sulle coste e consiste nell'ispezione delle aree interessate dalla contaminazione petrolifera. Tale valutazione viene realizzata nella fase immediatamente successiva allo spiaggiamento dell'inquinante e comporta la raccolta e la documentazione di tutti i possibili dati sulle condizioni del litorale impattato, da effettuarsi in modo rapido, accurato e sistematico. Viene così fornito un supporto per le decisioni delle autorità competenti, consentendo una adeguata disamina delle strategie e priorità di intervento da attuare.



Figura 2: Valutazione iniziale dello stato di una costa interessata da inquinamento

Di seguito si descrivono brevemente i criteri fondamentali di una corretta valutazione dello stato delle coste; per i necessari approfondimenti si rimanda alla lettura dei testi riportati in bibliografia e in particolare del seguente manuale alla cui realizzazione ISPRA ha partecipato:

POSOW project (2013). Oiled Shoreline Assessment Manual. Realizzato nell'ambito del progetto europeo POSOW (Preparedness for Oil-polluted Shoreline and Oiled Wildlife response) da REMPEC, ISPRA, CEDRE, Sea Alarm, CRPM (www.posow.org/documentation/manual).

L'attività di valutazione, attraverso la produzione di mappe tematiche *ad hoc*, contribuisce non solo alla pianificazione dei successivi interventi ma anche alla immediata visualizzazione dello stato di avanzamento delle operazioni di bonifica avviate. È così possibile da un lato verificare lo stato di avanzamento dei lavori e una riprogettazione delle attività da svolgere, dall'altro fornire agli amministratori locali, nazionali e ai politici anche un utile strumento di comunicazione nei momenti di confronto con la popolazione e con i media.

I responsabili delle attività di SCAT, per poter avviare efficacemente le operazioni, dovranno aver ricevuto informazioni attendibili (sia dal campo che da modelli predittivi) sulle coste già impattate e su quelle in potenziale pericolo. In tal modo è possibile selezionare e delimitare le aree da ispezionare.

Per una corretta valutazione bisogna tenere in considerazione i seguenti principi fondamentali:

- La segmentazione della linea di costa in omogenee *unità fisiografiche* o "segmenti";
- L'organizzazione delle squadre di valutazione formate allo scopo;
- La registrazione di tutte le informazioni acquisite su un'apposita scheda di campo;
- La realizzazione tempestiva della necessaria documentazione per agevolare il processo decisionale e di pianificazione.

Segmentazione del litorale

Il primo passo essenziale è quello di dividere la costa in unità di lavoro operative chiamate “segmenti”, all’interno del quale il litorale è relativamente omogeneo (uniforme), in termini di caratteristiche fisiche e sedimentologiche. Si tratta delle cosiddette *unità fisiografiche* tra le quali, a titolo di esempio, citiamo: baie sabbiose, tratti di roccia interposte tra due baie, spiagge ghiaiose, ecc.. Tra l’altro, le stesse *unità fisiografiche* rappresentano spesso anche le singole aree di lavoro dove una o più squadre di operatori svolgono le attività di pulizia (vedi cap. 6).



Figura 3: Una baia è un esempio di un “segmento” (unità fisiografica) in cui svolgere la valutazione iniziale

Per contribuire a definire i segmenti, oltre alle mappe cartacee, anche le immagini satellitari, come quelle liberamente disponibili da Google Maps, possono essere molto utili; sono però da valutare la risoluzione delle immagini, o le scale delle carte disponibili per la zona.

I confini tra i segmenti saranno stabiliti sulla base delle caratteristiche geomorfologiche e sedimentarie (es. coste a falesia, costa di golfo, costa di litorale dritto, ecc.) e fissati in corrispondenza di elementi di discontinuità come, ad esempio, la presenza di un promontorio, o tra due zone caratterizzate da differenti tipologie di litorale o substrato. Soprattutto nel caso di estesi litorali dalle caratteristiche omogenee e uniformi (es. lunghi arenili sabbiosi) la divisione in «segmenti» può essere determinata sulla base dei meccanismi di deposizione degli idrocarburi, qualora si riscontrassero delle differenze nelle varie zone, oppure secondo le esigenze e modalità operative dell'intervento, quali la disposizione dei punti di accesso, o semplicemente effettuando una suddivisione secondo distanze uniformi. In ogni caso è opportuno stabilire segmenti non eccessivamente lunghi; le lunghezze possono variare usualmente tra i 200 - 2.000 metri.

Ad ogni segmento deve essere assegnato un codice univoco di identificazione. Non esistono regole precise per stabilire i codici; è importante che essi siano semplici e intuitivi. Generalmente si usa un codice che parta dal nome del comune (o parte di esso) sul quale insiste il segmento, seguito da una numerazione progressiva.

Squadre di valutazione

È necessario individuare delle squadre di esperti che, con appositi strumenti, ispezioneranno segmenti di costa con lo scopo di restituire una mappatura dettagliata delle principali caratteristiche e criticità osservate. L'attività di valutazione, in considerazione dell'importanza delle informazioni che dovrà fornire, deve essere eseguita con tempestività.



Figura 4: Attività di ispezione di una squadra di valutazione

Come detto in precedenza, l'attività di valutazione deve proseguire anche nel corso della fase di bonifica dei litorali e le squadre dedicate agiscono, sia preliminarmente che a bonifica avviata, con i seguenti principali obiettivi:

- Documentare e descrivere il grado di compromissione del segmento di costa, le principali caratteristiche degli idrocarburi e la loro distribuzione lungo il litorale;
- Fornire specifiche indicazioni per ciascun segmento di costa sulle possibili tecniche di pulizia che è possibile adottare;
- Valutare l'efficacia dei metodi di pulizia che si stanno adottando, suggerendo ai decisori eventuali modifiche e adattamenti in corso d'opera;
- Valutare quando le attività di pulizia possono terminare, suggerendo, quindi, ai decisori il momento in cui decretare la fine dei lavori per ciascuno specifico segmento di litorale.

Il numero di persone della squadra e il numero di squadre necessarie dipenderanno dalle circostanze dell'incidente. La squadra potrà essere composta idealmente da:

- Una unità di personale esperta in SCAT o con esperienza in attività di ispezione di litorali;
- Una unità di personale che abbia familiarità con l'ecologia della zona interessata;
- Un esperto di beni culturali per la protezione di elementi di interesse artistico e archeologico;
- Una unità di personale con esperienza sugli aspetti logistici, necessariamente da considerare nella fase di bonifica;
- Una unità di personale esperta in attività di bonifica di prodotti petroliferi.

Anche se i membri del team possono essere individuati in una vasta gamma di organizzazioni, i tipici candidati per formare le squadre sono:

- Personale di enti pubblici per la protezione del territorio, statali e regionali;
- Personale di associazioni ambientaliste;
- Personale di industrie petrolifere;
- Personale di enti locali o rappresentanti dell'amministrazione comunale.



Figura 5: *Differenti figure professionali devono comporre la squadra di valutazione*

Compilazione delle schede di campo e produzione di documentazione e cartografia

All'attività di ispezione dei litorali deve seguire la produzione di un dedicato rapporto che illustri la situazione osservata nel modo più dettagliato e comprensibile possibile. Tale rapporto dovrà contenere in allegato:

- Le schede di campo relative a ciascun segmento di costa ispezionato. Esse devono prendere in considerazione le principali caratteristiche del litorale e descrivere le modalità di deposizione del materiale oleoso;
- Un rapporto fotografico relativo alle diverse situazioni osservate. Ciascuna fotografia dovrà essere nominata con un determinato codice identificativo (ID), riportato anche nelle schede di campo;
- Una cartografia in cui venga riportata la localizzazione dei segmenti di litorale ispezionati e le principali caratteristiche dei depositi oleosi osservati.

3. STRATEGIE E PRINCIPI PER UNA EFFICACE BONIFICA DELLE COSTE

Poiché un inquinamento di idrocarburi può verificarsi in forme, modalità e contesti molto diversi non è possibile dettare comportamenti specifici ma solo principi generali che siano validi in ogni circostanza. Non esiste una tecnica più efficace di altre in termini assoluti e, soprattutto, nessuna di queste deve considerarsi risolutiva o definitiva: infatti la bonifica spesso è il risultato della commistione fra più tecniche diverse o della creazione di nuove.

Quando è necessario determinare la strategia più adatta per la rimozione degli idrocarburi da un tratto di costa non bisogna mai dimenticare due assunti fondamentali:

1. Lo scopo è quello di minimizzare i danni dovuti alla presenza di un inquinante;
2. La sicurezza e la salute degli operatori va sempre garantita.

Non esiste una unica tecnica universale, dall'efficacia indiscutibile. Esistono invece numerose tecniche di rimozione ed ognuna di queste produrrà un determinato effetto sull'ambiente e un potenziale rischio per gli operatori. In nessun modo le attività devono aggravare le condizioni, già compromesse, di un ambiente impattato, o mettere a repentaglio la salute di chi interviene sul campo. Per questo è di fondamentale importanza che le Autorità deputate a gestire l'intervento, di concerto con le realtà locali competenti, richiedano il supporto di tecnici e ricercatori esperti.

3.1 Aspetti strategici da considerare

In termini generali alcuni principi sono da tenere sempre in considerazione quando si verifica lo spiaggiamento di idrocarburi che, se applicati, possono aumentare l'efficacia dell'intervento e ridurre gli eventuali effetti negativi dello

stesso. Tali principi sono:

- Il recupero preventivo dei materiali solidi non contaminati;
- Scelta delle tecniche di bonifica manuale o meccanica;
- Scelta del momento in cui dare avvio all'operazione di bonifica;
- La divisione dell'attività di bonifica in una fase iniziale grossolana e una fase di bonifica di dettaglio;
- Scelta dei criteri per decidere sino a quando spingersi con la bonifica;
- Minimizzazione dei volumi di rifiuto prodotti.

Tali aspetti strategici devono essere presi in considerazione nella fase iniziale dell'emergenza. È altresì importante rendere nota la strategia adottata alla popolazione locale e ai *media*.

3.11 Quando iniziare la bonifica

L'esperienza passata dimostra che quando avviene un evento emergenziale le attività di contrasto spesso sono attuate in maniera frenetica e caotica. Soprattutto a seguito dello spiaggiamento degli idrocarburi, la reazione è quella di intervenire nella raccolta impiegando personale specializzato o riferendosi alle Associazioni di volontariato. Può accadere, però, che terminata l'azione di bonifica di un lungo tratto di costa si verifichi un nuovo arrivo di chiazze d'olio sulla stessa spiaggia che rende necessario riavviare i lavori. Ciò determina uno spreco di energie e risorse nonché un effetto negativo sul morale di chi opera.



Figura 6: litorale coinvolto da un oil spill

D'altro canto, l'opzione di attendere qualche giorno prima di avviare le operazioni di bonifica può determinare la copertura dell'olio da parte di materiale sabbioso, oppure il dilavamento e reimmissione dello stesso olio in mare, per opera di maree o mareggiate; questi fenomeni possono essere più o meno rilevanti a seconda delle condizioni meteo marine, della geomorfologia dell'area, del regime sedimentario dell'area in genere.

La scelta che si dimostra migliore è quella di eseguire una bonifica iniziale per rimuovere i grossi accumuli di inquinante (vedi par. 3.1.4), procrastinando l'avvio della fase di bonifica di dettaglio fino a quando l'arrivo di nuove chiazze è ritenuto improbabile. In caso di un evento inquinante di medie/estese dimensioni (in termini di volume di prodotto versato), prima di iniziare le attività di bonifica di dettaglio è necessario, quindi, valutare la presenza del prodotto eventualmente galleggiante e/o depositatosi sul fondale, per effettuare una stima dei volumi di contaminante che potrebbe ancora raggiungere la costa, per pianificare e quantificare la sua rimozione. Soprattutto in presenza di

ampie superfici compromesse, si devono considerare tutti i criteri utili a definire una scala di priorità di intervento.

3.1.2 Recupero preventivo dei materiali solidi non contaminati

Quando le dinamiche successive allo sversamento permettono di disporre del tempo necessario, si dovrà provvedere a recuperare il maggior quantitativo possibile di detriti naturali e di scarti solidi di origine antropica presenti sul tratto costiero, prima dell'arrivo dell'inquinante. Lo scopo è quello di ridurre preventivamente il volume di rifiuti speciali (vedi par. 3.1.6), favorendo un più veloce ripristino dell'ambiente.



Figura 7: La raccolta preventiva dei rifiuti solidi e altro materiale può facilitare le operazioni di bonifica e ridurre sensibilmente il volume dei rifiuti speciali

Per assolvere a questo compito, a seconda dell'estensione dell'inquinamento e del personale disponibile, oltre alla raccolta manuale, potranno essere utilizzati anche macchinari adeguati. Fondamentale è svolgere sempre tali attività nella maniera più sistematica possibile, garantendo la sicurezza degli operatori e seguendo l'approccio ecologicamente più conservativo; è necessario, pertanto, riferirsi sempre a personale specializzato ed esperti nei vari settori.

Attrezzatura base:

- Rastrelli, vanghe;
- Piccoli cesti in rete;
- Mezzi meccanici;
- Setacci manuali, pulisci spiaggia;
- *Containers* per rifiuti, *Big bags*, bidoni, buste di plastica.



Figura 8: Alcuni utensili di più largo utilizzo durante le attività di bonifica

Prima dello spiaggiamento del prodotto, si può optare per lo spostamento dei detriti naturali in una porzione della spiaggia non esposta al pericolo, in attesa delle operazioni di raccolta. La raccolta dovrebbe avvenire nella maniera più selettiva possibile per facilitare la catalogazione dei rifiuti e il loro successivo recupero, riciclo o smaltimento.

Gli operatori dovrebbero:

- Avere una conoscenza di base dei prodotti pericolosi accidentalmente rinvenibili;
- Indossare scarpe antinfortunistica.

Le attività e il comportamento degli operatori dovrebbero salvaguardare le zone ecologicamente sensibili (ambienti dunali, aree umide costiere, aree di riproduzione o nidificazione, *fitocenosi* alofile etc.) e minimizzare sempre l'asporto di substrato (sabbia, ghiaia).



Figura 9: La bonifica dei litorali deve procedere con particolare cautela lungo i tratti ecologicamente sensibili

3.1.3 Scelta della tecnica di bonifica

La scelta della tecnica di bonifica più idonea ha un elevato valore strategico. Come detto in precedenza, non vi sono delle tecniche di bonifica che vanno sempre bene a priori, ma la loro efficienza ed efficacia dipende da una serie di fattori quali:

- Le caratteristiche chimico-fisiche del prodotto;
- La morfologia della costa, la sua accessibilità;

- La disponibilità di personale e strumentazioni necessarie;
- L'utilizzo socio-economico della costa e il periodo dell'anno.

Tutti questi fattori, insieme, rendono ciascun evento unico. In ogni caso, nella fase iniziale è fondamentale eseguire una scelta tra due categorie di tecniche di bonifica:

- Tecniche di bonifica manuali: prevedono l'impiego prevalente della forza lavoro e di alcuni utensili di facile reperibilità ed utilizzo;
- Tecniche di bonifica meccaniche: prevedono l'impiego di mezzi meccanici di varia complessità.



Figura 10: La raccolta manuale richiede normalmente l'impiego di una notevole forza lavoro (foto CEDRE)

Le tecniche manuali sono generalmente più accurate e permettono di spingere il livello di pulizia a un dettaglio più approfondito rispetto alle tecniche meccaniche; inoltre esse sono maggiormente sostenibili da un punto di vista ambientale anche se necessitano di una grande disponibilità di risorse umane (non necessariamente professionalizzate) e di tempi di realizzazione più lunghi se confrontati alla durata di interventi di bonifica con mezzi meccanici effettuati in analoghi tratti di litorali.

In ultimo bisogna considerare i vantaggi sociali dell'impiego di personale volontario appartenente anche alla popolazione locale, che verrebbe coinvolta come parte attiva nella soluzione del problema.



Figura 11: La raccolta meccanica può ridurre sensibilmente i tempi di raccolta

Le tecniche meccaniche necessitano di una minore forza lavoro che, però, deve essere specializzata. Le quantità di inquinante raccolto per unità di tempo può essere sensibilmente maggiore rispetto alla tecnica manuale, ma spesso ciò determina la raccolta di quantità, anche notevoli, di sedimento pulito e di altro materiale non contaminato; tale fenomeno, del resto, è stato ri-

scontrato in numerosi eventi avvenuti nel passato. Ciò implica la produzione di un maggior volume di rifiuto, aspetto rilevante da considerare nella valutazione iniziale anche considerando i relativi costi di smaltimento (vedi par. 3.1.6). Se vengono scelte queste tecniche è necessario prendere in considerazione la necessità di una maggiore capacità logistica per i mezzi meccanici: spesso il fattore limitante per la scelta di queste tecniche è la mancanza di un accesso idoneo all'area dell'intervento.

È opportuno ricordare che a parità di tecnica adottata, la differenza nell'efficacia della bonifica risiede nel livello di formazione e di esperienza del personale incaricato. Operatori già impiegati in passato in attività di risposta potranno garantire una maggiore efficienza ed eventualmente apportare il proprio contributo per implementare le tecniche in corso d'opera. Sono, quindi, anche la conoscenza e le valutazioni circa la disponibilità di mezzi e risorse umane a concorrere nella scelta delle tecniche adeguate.

Quando valutato opportuno si può intervenire con i mezzi meccanici per eseguire una pulizia iniziale, per poi intervenire con la raccolta manuale nella pulizia finale di dettaglio (vedi par. 3.1.4).

Nel caso in cui le tecniche di bonifica, a causa di una cattiva valutazione, una decisione errata o di un cambiamento naturale delle condizioni ambientali, si dimostrassero inadatte, queste dovranno essere adeguate in corso d'opera.

La scelta della giusta attività di bonifica passa anche attraverso la valutazione della sensibilità ecologica e del valore socio-economico dell'area interessata; questi fattori variano ampiamente, specie in funzione della stagionalità. Esiste, quindi, la necessità di valutare in termini di costi/benefici l'efficacia di un intervento rispetto all'opzione zero (il non intervento) che, di fatto, sfrutta l'azione di ripristino naturale dell'ambiente, senza l'azione diretta dell'uomo.

3.1.4 Le due fasi della bonifica dei litorali

Una volta che gli organi preposti, in accordo con i tecnici, hanno valutato l'estensione e quindi la gravità dell'evento inquinante, le attività di bonifica inizieranno con una prima rimozione grossolana del prodotto e di altri rifiuti, per poi proseguire con operazioni di pulizia più accurate e quindi dichiarare l'eventuale chiusura dei lavori. Quando si è in presenza di ampie superfici compromesse, è necessario considerare tutti i criteri utili a definire una scala di priorità di intervento fra le diverse spiagge.

Pulizia iniziale

Lo scopo di questa prima fase è dare priorità alla veloce rimozione dei grossi accumuli di inquinante e dei possibili materiali ingombranti venuti a contatto con il prodotto (sedimento, detriti, materiale galleggiante ecc.). La finalità è duplice: non consentire al moto ondoso di recuperare materiale inquinante per poi depositarlo nuovamente in aree rimaste intatte, con il risultato di estendere ulteriormente la contaminazione, e limitare l'impatto ecologico riducendo la permanenza del prodotto nell'ambiente.

Pulizia finale

La bonifica finale ha come obiettivo il ripristino dell'ambiente e il ritorno alle normali attività socio-economiche. Questa fase dovrebbe iniziare solo dopo aver eliminato tutte le potenziali nuove sorgenti di inquinamento (sorgente originaria, olio presente sui fondali o spiagge limitrofe non adeguatamente bonificate, ecc.)

Prima di dichiarare la chiusura delle attività di bonifica è necessario accertarsi che:

- Siano stati raggiunti i livelli di pulizia prestabiliti;
- L'area di intervento sia sicura dal punto di vista sanitario;
- Le precauzioni ambientali siano state soddisfatte.

L'ispezione dovrebbe essere svolta dalle Autorità in carica (usualmente gli stessi incaricati della valutazione iniziale). Quando l'ispezione risultasse soddisfacente, le ufficiali pratiche di chiusura devono essere certificate dalle Autorità competenti. In caso contrario le attività vanno proseguite fino a successivo controllo.

Chiusura

Una volta soddisfatte le pratiche ispettive, tutte le attrezzature ed i macchinari andranno smobilitati. Tutti i rifiuti rimossi e smaltiti. Se necessario il sito va poi messo temporaneamente in sicurezza. Inoltre è utile prevedere successive ispezioni per accertarsi che non vi siano fenomeni di *Inquinamento secondario* imprevisti.

Smobilitazione

Se non è previsto il riutilizzo in altre aree inquinate, le attrezzature ed i macchinari andranno decontaminati e/o riparati prima del rientro ai depositi di provenienza. Ogni parte dell'equipaggiamento che risultasse inservibile andrà inventariata per la successiva riparazione o sostituzione.

Resoconto finale

Dopo la chiusura ufficiale del sito è consigliabile stilare un resoconto che includa i documenti delle attività svolte, la lista degli operatori coinvolti e l'elenco delle ispezioni effettuate, insieme ad ogni eventuale *report* ritenuto utile ai fini della eventuale successiva richiesta di risarcimento economico o procedimento legale. Questa raccolta dati è, inoltre, utile per l'analisi delle esperienze vissute (le cosiddette *lessons learnt*) e per lo sviluppo di nuove tecniche.

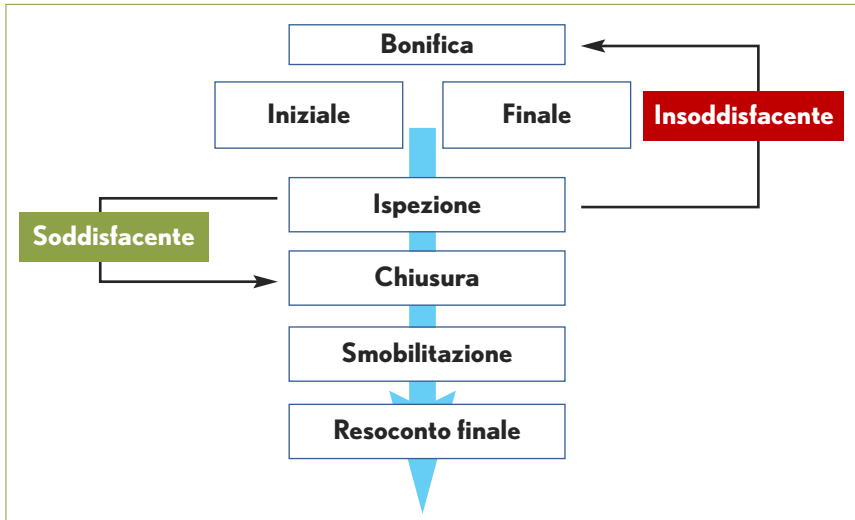


Figura 12: Procedura di valutazione delle attività di bonifica

3.1.5 Sino a quando bonificare?

La decisione di bonificare una costa inquinata e la definizione dell'obiettivo, ovvero del livello di pulizia, da conseguire, dipenderà da diversi fattori:

- La possibilità di ridurre, da un punto di vista ambientale, il danno causato dalla presenza del prodotto;
- La necessità dell'uso del tratto costiero a scopo commerciale (attività di pesca, turismo, industria, etc.);
- La probabilità che il prodotto possa successivamente contaminare le aree bonificate;
- La praticabilità delle operazioni in questione.

Occorre sempre considerare che una bonifica eseguita in maniera non corretta può causare danni ambientali potenzialmente più significativi di quelli provocati dal prodotto spiaggiato.

Le tecniche di *cleanup* non dovrebbero spingersi oltre una soglia minima, cau-

relativa, di rimozione del prodotto. Tale soglia dovrebbe essere decisa nella fase iniziale, di pianificazione degli interventi. Nel passato, si è spesso osservato come un'azione di bonifica troppo spinta abbia determinato delle conseguenze ambientali negative, come l'asportazione eccessiva di arenile con conseguenti problemi di erosione del litorale. Inoltre, anche il materiale asportato in eccesso, seppur non contaminato, è classificato come rifiuto speciale e come tale il suo trattamento determina una lievitazione dei costi di intervento.

Non esiste un valore di riferimento o un criterio universale per stabilire tale soglia, pertanto essa va definita caso per caso; la decisione ultima spetta alle Autorità responsabili che valutano i pareri formulati dalle diverse realtà competenti nelle varie materie.

Il principale obiettivo dell'intervento non deve essere quello di rimuovere ogni traccia di petrolio (o di prodotti derivati), bensì quello di riportare l'ambiente a delle condizioni minime, sufficienti a consentire, nel medio/lungo termine, un ripristino naturale dello stato precedente la contaminazione e il recupero del *biotopo* e, al contempo, un ritorno alle normali attività socio-economiche insistenti sul quel territorio, contenendo al minimo la produzione dei rifiuti.

In talune situazioni, può accadere di constatare che la migliore soluzione sia, paradossalmente, il non intervento. Infatti, soprattutto in aree di particolare pregio ecologico, può ritenersi più efficace e meno invasivo lasciare che siano i soli processi naturali a ripristinare l'equilibrio ambientale, specialmente quando si è in presenza di un inquinamento di medio/bassa rilevanza. Molto spesso si ricorre all'opzione del non intervento nei casi di contaminazioni petrolifere di ambienti di transizione, ovvero di aree umide costiere (lagune, laghi costieri, estuari, stagni), caratterizzate da elevata biodiversità e grande vulnerabilità. L'accesso di mezzi meccanici e di personale in queste aree, può essere estremamente difficoltoso e i conseguenti danni fisici arrecati ad un *biotopo* così sensibile possono essere di gran lunga superiori a quelli causati dalla presenza delle masse di idrocarburi: in questi casi è più opportuno limitarsi a monitorare l'evoluzione della situazione.

3.1.6 Minimizzazione e segregazione del rifiuto prodotto

Le caratteristiche ambientali e geomorfologiche delle aree interessate dallo spiaggiamento di prodotti petroliferi e le tecniche di bonifica adottate determinano la tipologia e la quantità dei rifiuti prodotti.

La strategia di bonifica deve tenere nella massima considerazione l'obiettivo di ridurre e segregare, il più possibile, il rifiuto generato. Ciò faciliterà il processo del riciclo, così come garantirà la massima efficienza di smaltimento sia in termini ambientali che economici.

Le esperienze passate hanno mostrato che ad una scarsa attenzione alla problematica dei rifiuti nelle attività di *cleanup* della costa, consegue spesso la gestione di grandi volumi di materiale da smaltire; in alcuni esempi di cattiva conduzione della bonifica, i volumi di rifiuti prodotti sono risultati di gran lunga superiori, in taluni casi più del doppio, rispetto ai volumi di olio che avevano raggiunto i litorali.



Figura 13: Materiale asportato nel corso delle operazioni di pulizia di una spiaggia di Byblos (Libano, 2006). Il rifiuto prodotto è caratterizzato da volumi consistenti, data l'elevata percentuale di sedimento incontaminato



Figura 14: Evoluzione delle quantità di rifiuto accumulato durante le operazioni di pulizia a seguito dell'incidente della petroliera Erika; a fronte di una quantità sversata intorno a 15.000 tonnellate di idrocarburi, sono stati prodotti più di 200.000 tonnellate di rifiuto (Francia 1999, fonte CEDRE)

Prima del conferimento nel sito definitivo, i rifiuti devono essere stoccati in idonei contenitori, tenendo in considerazione le caratteristiche ambientali del luogo.

Nel corso delle prime fasi dell'emergenza è importante predisporre la realizzazione di siti intermedi di stoccaggio in attesa del successivo trasferimento e conseguente smaltimento definitivo dei rifiuti prodotti. Senza queste precauzioni può accadere, come si è osservato nel passato, che il rifiuto accumulato finisca per rimanere sul luogo di bonifica per un lungo periodo di tempo, aumentando anche il rischio di re-immissione di contaminanti nell'ambiente.

Le quantità di rifiuti prodotti e destinati ai siti temporanei devono essere registrate e i contenitori nei quali sono raccolte opportunamente marcati, in ottemperanza alla normativa vigente. Questo processo assolve anche la necessità di monitoraggio e controllo del processo di produzione del rifiuto propedeutico alle procedure di rimborso delle spese sostenute e dei danni subiti.

Le procedure indicate nel presente paragrafo vengono meglio esplicitate nella Sezione III del quaderno n.1 della presente collana "Sversamento di idrocarburi in mare: stima delle conseguenze ambientali e valutazione delle tipologie d'intervento".



Figura 15: Stoccaggio temporaneo dei rifiuti

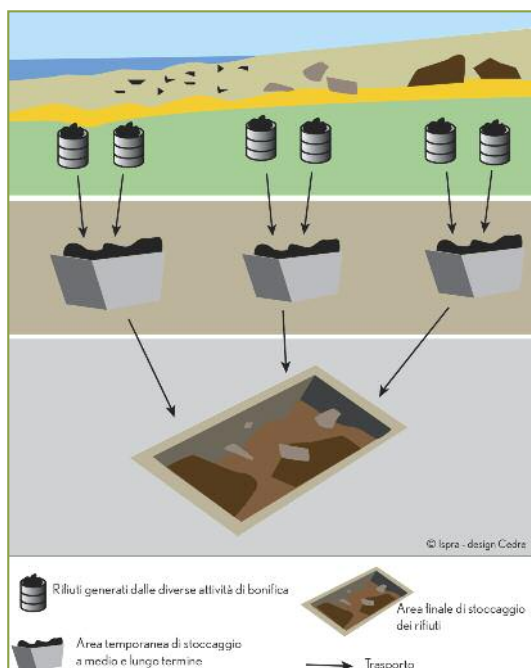
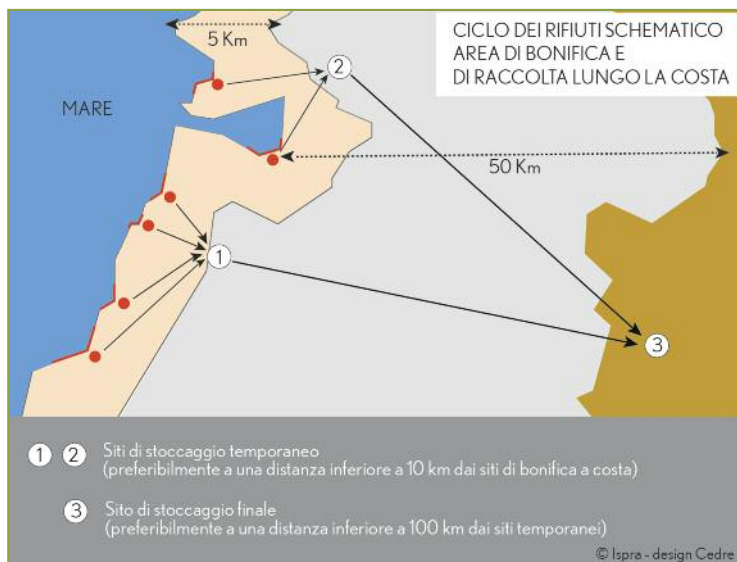


Figura 16: Percorso dei rifiuti prodotti a seguito delle operazioni di bonifica (stoccaggio, trasferimento e smaltimento definitivo)

Segregazione

Nel corso di un *oil spill* e delle conseguenti operazioni di bonifica, come detto in precedenza, i rifiuti devono essere segregati cercando soprattutto di separare il materiale oleoso raccolto dalle restanti tipologie di rifiuti che derivano dalle attività di bonifica (indumenti usurati e non più utilizzabili, altro materiale danneggiato, residui di cibo, ecc.); questi ultimi sono da differenziare ulteriormente secondo le diverse tipologie di materiale riciclabile, osservando le norme per il processo di riciclo applicato nell'area delle operazioni (plastica, carta, vetro, materiali ferrosi, ecc.).

Minimizzazione

La minimizzazione dei rifiuti è un'attività assolutamente necessaria anche per ridurre l'eccessiva asportazione di sedimenti puliti. Come precedentemente espresso, l'eccessiva rimozione di sabbie può innescare processi di erosione dei litorali e, inoltre, l'aumento dei volumi di materiale da smaltire determina un proporzionale aumento dei costi. La scarsa attenzione al controllo della produzione di rifiuti può determinare anche il mancato rimborso delle spese sostenute, da parte delle compagnie assicuratrici, qualora la gestione del processo venisse riconosciuta come non corretta.

Per la minimizzazione dei volumi del rifiuto è necessario applicare alcune accortezze come di seguito elencate:

- A parità di efficacia, scegliere le tecniche di bonifica che determinano una minore produzione di rifiuti; generalmente, sotto questo aspetto, le tecniche di raccolta manuale sono più efficienti rispetto a quelle che prevedono l'utilizzo di mezzi meccanici;
- Eseguire in primo luogo la rimozione dei grossi accumuli di inquinante e poi procedere alla bonifica di fino (vedi Paragrafo. 3.1.4);
- I tratti di costa potenzialmente a rischio devono essere, quando le dinamiche temporali lo permettano, individuati prima che le chiazze oleose li raggiun-

gano; in questi stessi tratti si deve procedere celermente ad una raccolta preliminare dei rifiuti solidi (classificati come rifiuti solidi urbani), per ridurre il volume di materiale imbrattato da prodotti petroliferi (classificati come rifiuti speciali). Si realizza, così, un risparmio di costi di smaltimento (vedi par. 3.1.2);

- Segregazione alla sorgente dei diversi tipi di rifiuto (prodotto oleoso, rifiuti solidi, dispositivi di protezione, ecc.);
- L'area dedicata allo stoccaggio dei rifiuti deve essere resa impermeabile in modo da evitare infiltrazioni di liquidi contaminati, a seguito dell'azione di dilavamento delle piogge o in caso di rottura accidentale dei contenitori (vedi par. 5.2);
- L'equipaggiamento dovrebbe essere pulito e riusato piuttosto che smaltito (vedi par. 5.1);
- Bisognerebbe utilizzare Dispositivi di Protezione Individuale riutilizzabili, evitando gli usa e getta;
- I prodotti assorbenti dovrebbero essere utilizzati con moderazione e solo quando strettamente necessari.

3.2 Organizzazione delle attività

Come precedentemente esposto, l'area di bonifica (il tratto di costa interessato dall'inquinamento) deve considerarsi come un ambiente potenzialmente pericoloso per la salute (capitolo 4 "sicurezza e salute"); pertanto, una volta autorizzate le operazioni, deve sempre essere posta la massima attenzione al rispetto delle procedure di sicurezza.

La prima operazione da compiere nella realizzazione logistica di un intervento sarà la perimetrazione della porzione di spiaggia o costa imbrattata. La chiusura dell'area con transenne o reti da cantiere consentirà di evitare il passaggio di persone non autorizzate che si esporrebbero al contatto con un prodotto tossico e con il rischio di trasferirlo in aree limitrofe non interessate dall'inquinamento. Sarà, quindi, opportuno prevedere un unico accesso al-

l'area contaminata e un'unica via d'uscita che passi attraverso la zona dedicata alle operazioni di decontaminazione (paragrafo 5.1 "Decontaminazione del personale").

Tutte le attività dovrebbero essere pianificate e coordinate dalle Autorità, o da suoi rappresentanti, ai diversi livelli di intervento. Di conseguenza un quartier generale dovrebbe essere posto nelle vicinanze dell'area di lavoro. Quest'ultimo dovrà essere facilmente accessibile, segnalato e sorvegliato e dotato dei basilari sistemi di comunicazione a distanza.



Figura 17: valutazione delle attività di raccolta

Comunicazioni

Un responsabile per ogni gruppo di lavoro impegnato sulla costa, deve mantenere continui contatti con il quartier generale o quantomeno con i rappresentanti delle autorità coordinanti. A questo scopo possono essere utilizzati i più comuni sistemi di comunicazione a distanza:

- Appareti radio fissi e portatili (VHF);
- Telefonia cellulare e/o *smartphone*.

Gli operatori, organizzati in squadre, svolgono ruoli specifici all'interno della porzione di costa o *unità fisiografica* a loro ufficialmente affidata. Il numero di operatori che compongono una squadra e le caratteristiche della squadra stessa, variano a seconda delle esigenze e delle disponibilità di personale, in risposta al principio di flessibilità che deve ispirare ogni intervento in emergenza.

Una squadra tipo dovrebbe essere composta da personale con specifici ruoli:

- *Un coordinatore*: tiene i rapporti con il coordinamento dell'emergenza e organizza il lavoro della squadra. Non partecipa direttamente alle operazioni di pulizia per mantenere la visione d'insieme dell'intervento, di eventuali necessità ed esigenze, si occupa dell'organizzazione logistica del lavoro della squadra;
- *Un assistente*: è colui che vigila sul corretto utilizzo dei DPI e deve controllare tutti i componenti della squadra impegnati nelle operazioni per rispondere ad ogni necessità si presenti (fornire acqua per bere, aiutare nella pulizia degli occhiali, asciugare sudore, ecc). Non partecipa alle operazioni per non rimanere contaminato dal prodotto petrolifero;
- *Alcuni operatori*: seguono le indicazioni del coordinatore e materialmente realizzano l'intervento di pulizia e asportazione del prodotto petrolifero. Si occupano anche del trasporto del rifiuto e del materiale di risulta raccolto verso l'area individuata e attrezzata per il deposito temporaneo dei rifiuti;
- *Un addetto alle attrezzature*: partecipa alle operazioni di pulizia ma al tempo stesso ha il compito ulteriore di verificare la condizione e l'efficienza delle attrezzature necessarie per il lavoro, di verificarne la corretta decontaminazione una volta completate le operazioni e di reperire tutti gli strumenti necessari per i componenti della squadra.



Figura 18: Briefing fra operatori dello stesso team

L'inquinamento causato da idrocarburi è un evento in continua evoluzione che necessita del confronto e della cooperazione delle forze in campo. Per questa ragione è necessario organizzare un *briefing* mattutino e un *debriefing* serale, ai diversi livelli di gestione. Queste riunioni possono rappresentare degli importanti momenti di confronto, sia durante sia una volta chiusa la fase emergenziale. I vari attori chiamati ad intervenire

hanno una possibilità di discussione e di valutazione degli aspetti di implementazione del sistema di risposta, basati sui rapporti redatti sul campo.

Il *briefing* mattutino è utile a:

- Assegnare i compiti giornalieri ad ogni squadra;
- Fornire elementi utili al tipo di lavoro da svolgere;
- Chiarire eventuali dubbi o incomprensioni;
- Ribadire e/o definire i ruoli (chi fa cosa) nelle squadre di operatori.

Il *debriefing* serale è utile a:

- Registrare lo stato di avanzamento dei lavori delle squadre;
- Ricontrare eventuali problemi incontrati;
- Ricontrare eventuali incidenti accorsi al personale;
- Percepire il livello motivazionale delle squadre prevenendo malumori, insoddisfazioni e *burn out*;
- Accogliere suggerimenti per migliorare il lavoro del giorno seguente.

A pagina 35 (successiva) viene riportato un prototipo di scheda da compilare a fine giornata per ciascuna area di lavoro.

Trasporto del personale

La movimentazione di una forte presenza di operatori, dalle aree di accoglienza alle aree di intervento, può comportare un consistente appesantimento del sistema viario locale, con problematiche di aumento del traffico per gli altri soccorritori e per la popolazione locale, nonché un fenomeno di rapida saturazione dei parcheggi nelle aree limitrofe alle coste da pulire.

È possibile, in questo senso, prevedere convenzioni ed accordi con le aziende che gestiscono il trasporto pubblico locale. La scelta di attivare o meno un sistema collettivo di trasporto dipende da molteplici valutazioni, ma è possibile affermare che dipende principalmente dalla concentrazione delle forze impiegate e dal livello di complessità dell'organizzazione di un sistema di trasporto dedicato. In altri termini:

- È utile attivare un sistema di navette in caso di tratti di costa inquinati non eccessivamente ampi per estensione;
- È utile utilizzare i mezzi privati in caso siano coinvolti ampi tratti di costa nelle operazioni di disinquinamento.

Prototipo di scheda da compilare a fine giornata per ciascuna area di lavoro

email: _____

Fax n°: _____

Consegnare a fine giornata a _____

OPERATORI		TECNICHE ⁽¹⁾		ATTREZZATURA		RIFIUTO		NOTE ADDIZIONALI		RICHIESTE PER IL GIORNO SUCCESSIVO	
NUMERO	PROVENIENZA ⁽²⁾	QUANTITA' ³	TIPO ⁽³⁾	QUANTITA' ⁴	PROVENIENZA	QUANTITA' ⁵	TIPOLOGIA ⁽⁶⁾	INCIDENTI, GUASTI CAMBIAMENTI		RISORSE UMANE ATTREZZATURA	
PROVENIENZA ⁽¹⁾ OPERATORI Oltre le precedenti: Protezione Civile Enti locali Enti comunali Vigli del fuoco Volontari Privati Altro (specificare)		TECNICHE ⁽²⁾ Raccolta manuale Raccolta meccanica Lavaggio a pressione Altro		MEZZI MECCANICI Macchine movimento terra (escavatori, ruspe) Macchine agricole (trattori, ecc.) Attrezzatura nautica Alimentazione idraulica Alimentazione elettrica Altro (specificare)		TIPO DI ATTREZZATURA ⁽³⁾ SPECIFICA Pannone, alimenter Pulvisci spazzia, idropulitrici Sorbone, idranti Deposito: Tiarichi, containers Big bags, barili Altro (specificare)		MONDOUSO Geotessuto, materiale assorbente, detersivi Altro (specificare)		TIPOLOGIA RIFIUTO ⁽⁴⁾ Da liquido a semicolido Solidi molto contaminati Solidi leggermente contaminati Sedimento contaminato Materiale adsorbente contaminato Materiale organico contaminato Litter contaminato Altro (specificare)	

4. SICUREZZA E SALUTE

Come precedentemente esposto, uno dei due fattori fondamentali che regolano le strategie di bonifica è quello relativo alla salute del personale da impiegare nelle operazioni. La presenza di operatori in un'area costiera inquinata impone di considerare come prioritarie le questioni inerenti la loro sicurezza.

Se in un'area di intervento non è garantito il rispetto delle norme vigenti in materia di sicurezza non è possibile iniziare qualsivoglia attività. Poiché durante un intervento diverse condizioni sono mutevoli, tale precetto è da ritenersi valido anche a lavori in corso: la bonifica dovrà essere sospesa se i requisiti di sicurezza vengono a mancare e potrà essere ripresa solo una volta ripristinate le prerogative di sicurezza.

È pertanto consigliabile che le Autorità responsabili incarichino un professionista in qualità di referente della sicurezza.



Figura 19: Alcuni dispositivi di protezione individuale

4.1 Dispositivi di protezione individuale (DPI)

Gli operatori, a seconda del grado di esposizione potenziale, dovranno indossare dei dispositivi di protezione individuale (DPI), sia per quel che riguarda la protezione delle vie respiratorie sia per la prevenzione da contatto, e non dovrebbero mai lavorare sprovvisti dei necessari DPI.

La scelta della protezione idonea per il personale che svolge le operazioni di bonifica degli idrocarburi deve garantire l'operatore contro tutti i pericoli potenziali che possono sussistere, sia rispetto alle sostanze contaminanti, sia rispetto ai pericoli relativi al luogo in cui si opera. In generale è possibile individuare due differenti tipologie di rischi, determinati da:

- Esposizione ad agenti chimici e fisici, come solventi, oli, lubrificanti, polveri sottili, aerosol, vapori e gas tossici;
- Esposizione ai pericoli intrinseci del lavoro su costa (es. scivolamento, caduta dall'alto, caduta a mare, ecc.).

I dispositivi verranno selezionati in base al tipo di operazioni, alle condizioni lavorative e a quelle meteorologiche. La scelta dovrebbe garantire un livello di sicurezza e di comfort accettabili.

Quello della sicurezza è argomento molto complesso e troppo articolato per essere trattato compiutamente nel contesto della descrizione delle attività di bonifica delle coste contaminate da idrocarburi. Sarà, pertanto, proposta una sintesi delle caratteristiche dei DPI di maggior utilizzo e i principali criteri di scelta.

Un elenco dei principali DPI di più comune utilizzo è mostrato qui di seguito:

- Una tuta da lavoro protettiva: antistatica, ignifuga, antiacido, intera con cerniera e cappuccio ed elastico ai polsi e alle caviglie rispondente alle normative CE EN 531 / 1149 / 368;
- Una tuta usa e getta in Tyvek®: con cerniera e cappuccio da indossare sopra la tuta da lavoro. Questo materiale ha un'ottima capacità di resistenza agli

agenti chimici;

- Stivali o scarpe antinfortunistica con puntale e suola antistatica, antiscivolo, antiolio;
- Guanti in lattice monouso;
- Guanti in nitrile: resistenti ad abrasione e perforazione, resistenti agli agenti chimici e ai derivati di idrocarburi, ai solventi aromatici e clorati resistenti al calore;
- Occhiali protettivi: in policarbonato monolente a mascherina;
- Elmetto: casco di sicurezza con supporto interno regolabile, nei casi in cui si operi in prossimità di coste rocciose (se necessario imbracature e giubbotti salvagente);
- Maschera a filtri per Composti Organici Volatili (COV) (Paragrafo 4.1).

La scelta dei DPI più opportuni sarà fatta, di volta in volta, dal responsabile per la sicurezza e la salute incaricato dalle Autorità, che dovrà considerare l'evolvere della situazione. Una volta indossati gli indumenti e i dispositivi di protezione da contatto, occorre prendere ogni precauzione per evitare il passaggio di sostanze nocive attraverso i tessuti ed i materiali di fabbricazione dei DPI: può essere utile utilizzare del nastro isolante per fissare i guanti alle maniche della tuta e i pantaloni della tuta agli stivali.



Figura 20: Dispositivi di protezione individuale (fonte LEGAMBIENTE)

I DPI devono essere utilizzati correttamente e sempre indossati nell'area delle operazioni e nel sito di decontaminazione.

4.1.1 Protezione delle vie respiratorie

A protezione delle vie respiratorie si utilizzano maschere abbinate a filtri, essenzialmente di due tipologie:

1. Semimaschera: utilizzata con filtri, protegge le vie respiratorie da vapori nocivi e gas;
2. Maschera pieno facciale: maschera ad ampio campo visivo, con visore integrale in policarbonato, antigraffio e provvista di due valvole per la circolazione dell'aria che rendono lo schermo inappannabile. All'attacco della maschera si abbinano filtri a vite.

In entrambi i casi assicurarsi che le maschere abbiano una completa aderenza al viso.

I respiratori a filtro, filtrano l'aria proveniente dall'ambiente esterno proteggendo le vie respiratorie dalle molecole tossiche. I respiratori a filtro si dividono in tre categorie:

- Respiratori antipolvere: per la protezione da polveri, fibre, fumi e nebbie;
- Respiratori antigas: per la protezione da gas e vapori;
- Respiratori combinati: per la protezione da gas, vapori e polveri.

I responsabili incaricati della sicurezza generalmente valutano i filtri più idonei in base ai seguenti fattori:

- Caratteristiche e concentrazione nell'aria del prodotto inquinante;
- Indicazioni del fabbricante circa l'idoneità del filtro a trattenere una determinata sostanza. Nel caso fosse riscontrata la presenza di più sostanze tossiche o nocive, potrà essere necessario utilizzare filtri combinati;
- Durata dell'efficacia dei filtri; questa dipende, oltre che dalla capacità del dispositivo stesso, anche da altri fattori quali concentrazione del contaminante, umidità, temperatura, ritmo respiratorio, capacità polmonare, ecc. Il filtro va sostituito immediatamente quando si avverte un aumento della resistenza respiratoria, per i filtri antipolvere, e se l'utilizzatore avverte l'odore o il sapore della sostanza, nel caso di DPI a protezione da vapori e gas tossici. Entrambi i casi si presentano quando il filtro è saturo e ha quindi esaurito la sua capacità di assorbimento.

Le indicazioni relative all'utilizzo dei filtri vengono espresse tramite il fattore di protezione che individua la capacità di trattenere le particelle nocive. I filtri per gas e vapori sono realizzati con carbone attivo trattato in grado di trattenere specifiche famiglie di composti chimici per assorbimento fisico o chimico.

TIPO	PROTEZIONE	COLORE DEL FILTRO
A	Gas e vapori organici con punto di ebollizione $>65C^{\circ}$, come indicato dal fabbricante	MARRONE
B	Gas e vapori inorganici, come indicato dal fabbricante	GRIGIO
E	Gas acidi, come indicato dal fabbricante	GIALLO
K	Ammoniaca e derivati, come indicato dal fabbricante	VERDE
AX (EN371)	Gas e vapori organici a basso punto di ebollizione ($<65C^{\circ}$), come indicato dal fabbricante	MARRONE

Figura 21: Categorie di protezione dei filtri

I filtri di tipo A, costituiti da carbone attivo, determinano un assorbimento fisico dei vapori organici non basso bollenti. Nei filtri B,E,K il carbone attivo è impregnato con sostanze in grado di reagire chimicamente con i contaminanti. Per ogni tipologia di filtro esistono tre classi:

- CLASSE 1: bassa capacità;
- CLASSE 2: media capacità;
- CLASSE 3: alta capacità.

Ciò che differenzia le classi 1, 2 e 3 è la capacità, cioè la quantità di contaminante che il filtro è in grado di assorbire, e quindi la durata di efficacia del filtro stesso. La classe del filtro più idonea si seleziona in base alla concentrazione della sostanza tossica nell'aria.

La scelta della tipologia e la classe dei filtri necessari per gli operatori che hanno accesso all'area inquinata viene stabilito sulla base della qualità e del-

l'entità dell'inquinamento. Tuttavia, in linea generale è consigliabile l'utilizzo di filtri polivalenti che garantiscono protezione sia da polveri, sia da gas, aventi capacità di classe medio/alta.

L'impiego della maschera a filtri è particolarmente consigliata nel caso di spiaggiamento di ingenti quantità di idrocarburi "freschi", ancora ricchi di componenti volatili tossici, in quanto esposti solo per un breve lasso di tempo ai processi di invecchiamento (*weathering*). In caso di contatto accidentale dell'olio con la pelle si raccomanda di:

- Non usare solventi (alcool), *diesel* o prodotti abrasivi;
- Rimuovere la maggior parte del prodotto usando carta (preferibilmente carta assorbente o fazzoletti ma, in situazioni di emergenza si proceda con qualsiasi tipo di carta, anche fogli di giornale);
- Eliminare l'olio residuo usando prodotti grassi come olio per cucinare (di oliva o di semi) o vaselina, e lavare la parte con acqua e sapone. Ove necessario usare anche la pasta lavamani.

5. ORGANIZZAZIONE DELL'AREA DI LAVORO

Con il termine “Area di Lavoro” si intende non soltanto la zona interessata dalle operazioni di bonifica (Area di bonifica), ma l’insieme di spazi delimitati ma collegati fra loro, aventi specifiche destinazioni d’uso:

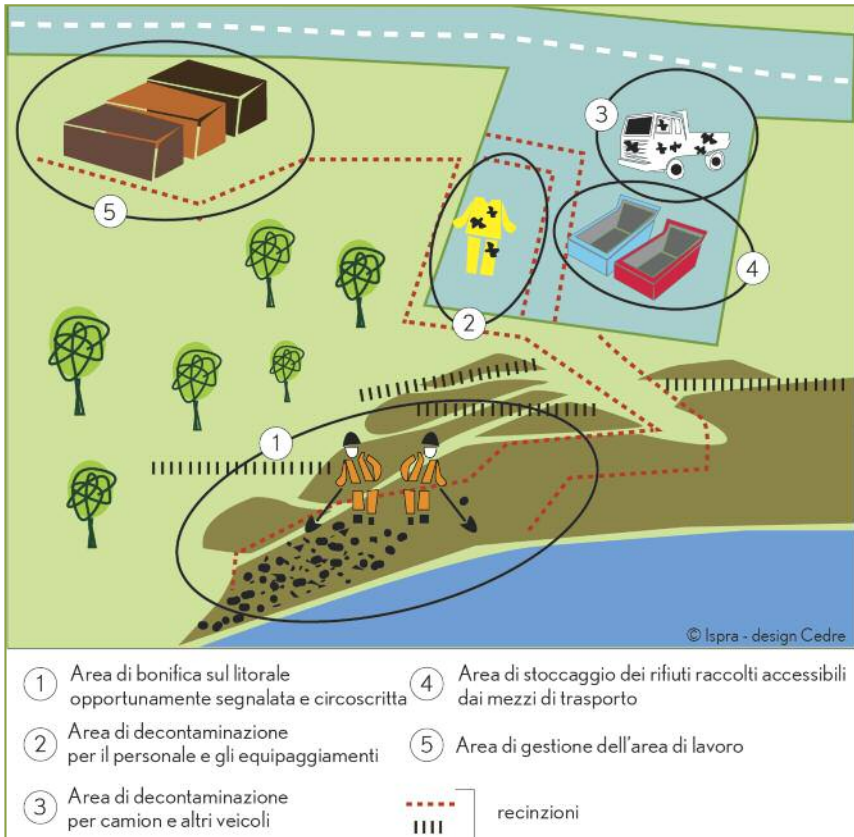


Figura 22: ipotetica distribuzione dei diversi spazi operativi dell' area di lavoro

Non è possibile definire a priori l'ampiezza dell'area di lavoro, la cui scelta è soggetta a numerose variabili. In termini generali, laddove possibile, è opportuno considerare come area di lavoro le cosiddette *unità fisiografiche*, ovvero quei tratti di costa che hanno simili caratteristiche geologiche e sedimentarie. Un esempio di *unità fisiografiche* sono le baie sabbiose, i tratti di roccia interposte tra due baie, le spiagge ghiaiose, ecc..

Quando tali unità sono molto estese in lunghezza è necessario suddividerle in più aree di lavoro le cui estensioni dipendono dalle caratteristiche geomorfologiche, dal personale disponibile e dalle tecniche di pulizia adottate.

L'accesso all'intera area di lavoro deve essere limitato al solo personale autorizzato e alle Autorità vigilanti. È dunque necessario delimitare l'intera area di lavoro per interdirlo al pubblico e a persone non autorizzate, monitorando costantemente ingressi ed uscite. Un tratto costiero interessato da inquinamento, infatti, deve considerarsi come un ambiente potenzialmente pericoloso per la salute pubblica. In base a quest'ottica la priorità in qualsiasi piano operativo è la salute/sicurezza degli operatori e della popolazione. Si consiglia, quindi, di riferirsi sempre alle specifiche normative nazionali in materia, e di consultare le figure professionali incaricate a questo scopo.

Una volta autorizzato, il lavoro deve essere organizzato in maniera tale da non consentire che le operazioni stesse possano essere un mezzo di *Inquinamento secondario* di aree rimaste illese o di aree appena bonificate. A tale scopo, il traffico di mezzi e il passaggio di personale, dentro e fuori le aree devono, necessariamente, essere veicolati e gestiti allo scopo di evitare *Inquinamento secondario* o incidenti connessi alle operazioni di *cleanup*. Inoltre, tutti i liquidi reflui o prodotti di risulta delle operazioni, devono essere collezionati in appositi contenitori. I rifiuti devono essere isolati dall'ambiente circostante e confinati in stazioni di stoccaggio temporaneo, per essere successivamente smaltiti, nei tempi e nei modi dettati dalle norme vigenti.

Campo base

Il campo base è da intendersi quella porzione dell'area di lavoro destinata essenzialmente alle attività di segreteria e al ristoro degli operatori, decontaminati (vedi par. 5.1), uscenti dall'area di bonifica. Il carico di lavoro usurante determina l'organizzazione di frequenti turnazioni e la necessità di spazi dedicati agli operatori, e al loro riposo, tra un turno e l'altro: questa organizzazione del lavoro consente di diminuire lo stress psicologico e fisico, spesso causa degli infortuni più banali. L'allestimento di un campo base dovrebbe prevedere i seguenti spazi:

- Una tenda spogliatoio: dove i volontari possano lasciare i propri effetti personali e indossare i dispositivi di protezione;
- Uno spazio per il riposo: una tenda adibita a mensa allestita con tavoli e panche e una tenda per il riposo, provvista di brandine; l'area deve essere servita da bagni chimici, separati per genere. È auspicabile che in questa zona sia presente anche personale sanitario e/o un'ambulanza;
- Un'area di coordinamento e segreteria: una tenda attrezzata e dotata di rete elettrica, dedicata alla postazione informatica e alla collocazione e uso dei sistemi di comunicazione (radio, telefono, ecc.). Nella tenda di coordinamento deve essere presente (o reperibile) un referente del coordinamento dell'emergenza, responsabile per l'area delle operazioni, a cui faranno riferimento i coordinatori delle squadre di operatori.

Criteri di selezione dell'area del Campo Base:

- Vicinanza all'area di bonifica;
- Superficie piana;
- Facilità di accesso;
- Sufficiente distanza da zone ecologicamente sensibili;
- Disponibilità di acqua e corrente elettrica.

Area deposito attrezzature

Questo spazio è da intendersi come deposito degli attrezzi necessari alle operazioni di pulizia e del materiale più comunemente utilizzato. Una gestione ed organizzazione efficiente dell'area deposito attrezzature deve prevedere l'inventario di strumenti e utensili al loro arrivo nel campo, in modo da supervisionarne la disponibilità e predisporre nuovi approvvigionamenti, se necessari; la registrazione è utile ad evitare o limitare lo smarrimento o il furto dei macchinari. Al fine di evitare incidenti o malfunzionamenti, l'area e l'attrezzatura dovrebbe essere regolarmente controllata da personale specializzato. Al termine delle operazioni di bonifica, prima della chiusura del campo, ogni attrezzo deve essere registrato, controllato, riparato o sostituito.



Figura 23: Mezzi logistici per il funzionamento dell'area di lavoro (fonte LEGAMBIENTE)

5.1 Sistemi di decontaminazione di personale e attrezzature

La pianificazione della logistica dell'area di lavoro deve prevedere un'area dedicata all'istallazione di unità di decontaminazione ad uso del personale e per l'attrezzatura utilizzata. Il processo di decontaminazione del personale deve avvenire alla fine di ogni turno di lavoro.

La decontaminazione assolve due compiti fondamentali:

- Tutelare l'ambiente;
- Preservare la salute dei lavoratori.

Rimuovere gli idrocarburi dal vestiario tecnico degli operatori alla fine di ogni sessione di lavoro riduce la probabilità di contatto dell'operatore con il prodotto e la dispersione involontaria dello stesso in aree non contaminate (*contaminazione secondaria*). La decontaminazione garantisce anche una riduzione dei prodotti di risulta, il prolungamento del ciclo di funzionamento dell'attrezzatura e la conseguente riduzione dei costi associati al loro smaltimento.

Alla fine di ogni turno di intervento i dispositivi di protezione individuale usa e getta (guanti in lattice, tute protettive in Tyvek®, filtri esauriti) e gli utensili e il materiale non riutilizzabili andranno gettati, raccolti in appositi contenitori e trasportati nel sito di stoccaggio temporaneo dei rifiuti. I dispositivi riutilizzabili (guanti in nitrile, maschere, occhiali protettivi, elmetti) andranno invece riconsegnati, correttamente decontaminati e rigenerati, per poter essere utilizzati nuovamente. L'attrezzatura deve necessariamente essere decontaminata anche prima del trasferimento da un'area ad un'altra.

È importante che un responsabile (vedi par. 5.2) tenga sempre conto del materiale utilizzato, del numero di operatori a lavoro e delle scorte di materiali disponibili per i successivi turni.



Figura 24: Operatore esposto alle conseguenze di una bonifica (Libano 2006)

La realizzazione del sito di decontaminazione nell'area delle operazioni, varierà a seconda della tipologia d'intervento e delle caratteristiche del territorio ma, in ogni caso, l'area deve essere allestita in un passaggio obbligato per tutto il personale in transito dall'area di bonifica al campo base.

L'obiettivo è far in modo che gli operatori seguano una "catena di lavaggio" che prevede quattro passaggi, riportati in Figura 25. Questo processo non necessita di particolare complessità logistica.

I criteri minimi per selezionare l'area più adatta sono:

- Approvvigionamento di acqua corrente;
- Vicinanza all'area di bonifica;
- Superficie relativamente pianeggiante.

Ulteriori accorgimenti da tenere in considerazione sono:

- La creazione di una pendenza che favorisca il defluire e la raccolta dei reflui di lavaggio (in una piccola cavità opportunamente preparata);
- La copertura del suolo con materiale impermeabile che impedisca la contaminazione del terreno (teli di plastica, strati di geotessuto);

· La delimitazione dell'area tramite nastri o altro materiale da segnalazione.

Anche l'attrezzatura necessaria è minimale:

- Barili o bidoni per la raccolta del rifiuto solido rimosso dagli operatori a fine turno (DPI usa e getta, dispositivi per la pulizia della pelle esposta al prodotto petrolifero, ecc.);
- Contenitori per la raccolta dell'attrezzatura contaminata;
- Solvente non tossico, stracci o spugne abrasive utili a rimuovere i residui di prodotto petrolifero; olio da cucina o sapone per la pulizia di mani e viso;
- Fogli di materiale assorbente;
- Idropulitrice a bassa pressione (acqua calda).

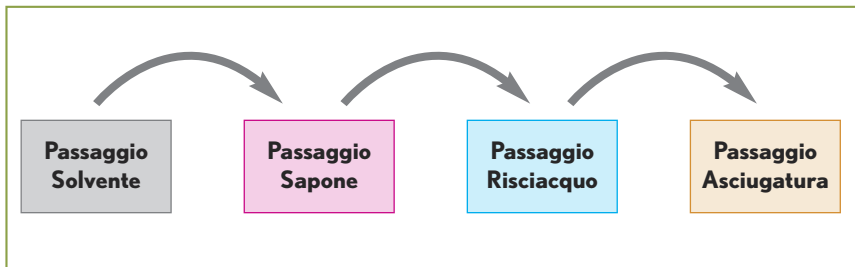


Figura 25: Passaggi del processo di decontaminazione degli operatori

La pulizia dell'attrezzatura avviene con l'uso di solventi, nei quali gli strumenti e gli utensili vengono immersi e lasciati in ammollo per un tempo ritenuto sufficiente. Si procede, quindi, con il risciacquo impiegando anche delle idropultrici, se necessario. Il liquido di scarto ottenuto andrà raccolto, mantenendo separate la frazione acquosa da quella del solvente (se possibile), secondo quanto previsto dalla normativa, e trasportato nel sito di stoccaggio temporaneo.

I reflui ottenuti dalla pulizia degli operatori devono essere convogliati in un incavo nel terreno opportunamente allestito (e impermeabilizzato), che deve essere svuotato per mezzo di una sorbona o di pompe di altro tipo; il liquido di risulta viene quindi trasferito in un apposito serbatoio. La frequenza con cui

si realizzano tali operazioni dipende dalla capacità di raccolta e dai volumi di reflui prodotti.

Tutti gli operatori presenti all'interno della stazione di decontaminazione, sia gli addetti sia gli operatori delle aree di bonifica da decontaminare, devono indossare adeguati DPI, selezionati tenendo conto anche della protezione dallo *spray* (acqua nebulizzata mista a prodotto e solvente) prodotto dall'utilizzo delle idropultrici.

Ci sono ruoli, compiti e funzioni utili a svolgere, nel migliore dei modi e in efficienza, le procedure di decontaminazione. Pertanto in base alla disponibilità di personale è utile prevedere i seguenti incarichi (o alcuni di essi):

- *Coordinatore*: tiene i rapporti con il coordinamento dell'emergenza, risponde alle necessità logistiche del lavoro e della squadra, compila, a fine turno, un verbale delle operazioni con dettaglio dei materiali utilizzati per numero di operatori decontaminati. Questa attività è di fondamentale importanza per valutare la quantità di prodotti necessari in relazione al personale decontaminato (solventi, saponi, acqua, materiale assorbente, ecc.).
- *Addetto alla vasca del solvente*: aiuta gli operatori (che indosseranno ancora tutti i dispositivi di protezione, guanti compresi) a ripulirsi dal prodotto petrolifero servendosi di compressori (dello stesso tipo utilizzato in agricoltura) prestando attenzione a dirigere il getto sempre dall'alto verso il basso, utilizzando anche spazzole o scope, ecc.. Provvede alla sostituzione del solvente saturo nella vasca, allo svuotamento del solvente nel contenitore dei reflui e al trasporto del prodotto utilizzato nel sito di stoccaggio temporaneo dei rifiuti speciali;
- *Addetto alla vasca del sapone*: gli ulteriori residui di prodotto oleoso saranno rimossi dagli indumenti degli operatori con un prodotto dall'alto potenziale sgrassante. L'addetto alla vasca aiuta gli operatori in questa operazione: provvede alla sostituzione del sapone saturo nella vasca, allo svuotamento del sapone nel contenitore dei reflui e al trasporto del prodotto utilizzato nel sito di stoccaggio temporaneo dei rifiuti speciali;

- *Addetto alla vasca del risciacquo*: aiuta gli operatori nella rimozione dei residui oleosi di prodotto petrolifero e dei solventi utilizzati per la decontaminazione, anche servendosi di compressori a bassa pressione. Tiene conto della quantità di acqua necessaria per le operazioni di risciacquo, informazione, quest'ultima, necessaria soprattutto nelle situazioni in cui non c'è disponibilità di acqua corrente;
- *Addetto all'asciugatura*: aiuta gli operatori nell'asciugatura e si occupa del controllo dei contenitori dei rifiuti (dispositivi di protezione contaminati e non riutilizzabili), comunica al coordinatore la quantità di materiale utilizzato in base al numero di operatori decontaminati.

5.2 Area di stoccaggio temporaneo dei rifiuti

Si tratta di un'area del campo di lavoro allestita per il deposito immediato e temporaneo dei rifiuti raccolti, in attesa del loro trasferimento ad un sito di stoccaggio di media o lunga permanenza, ovvero al diretto smaltimento. Nell'area di stoccaggio temporaneo, i rifiuti vengono smistati per categorie, i volumi quantificati e, ove possibile, ridotti. I differenti tipi di rifiuto vanno isolati fra di loro e l'area di stoccaggio deve essere strutturata in modo da proteggere i contenitori dalla degradazione indotta dagli agenti atmosferici (precipitazioni, esposizione solare, escursioni termiche, ecc.) evitando, così, dispersioni dannose di contaminanti nell'ambiente.

In fase di pianificazione è importante stabilire, in ottemperanza alle normative in materia di rifiuti speciali, le categorie di rifiuti prodotti durante tutte le fasi della bonifica e le relative modalità di raccolta e stoccaggio. È necessario, inoltre, prevedere l'isolamento dei rifiuti ovvero l'impermeabilizzazione del terreno, da infiltrazioni di percolato. Un presidio continuo dell'area vigilerà sulle attività.

Alcuni criteri per la selezione dell'area:

- Vicinanza e accesso all'area di bonifica, per agevolare il passaggio e il de-

posito dei fusti con il materiale raccolto;

- Facilità di accesso dall'interno e dall'esterno dell'area di lavoro. Bisogna prevedere un accesso sufficientemente grande, verso l'esterno, per consentire le manovre dei mezzi per il trasporto di rifiuti;
- Sufficiente distanza da zone ecologicamente sensibili;
- Protezione da eventi naturali (mareggiate, vento, ecc.).

In base al volume stimato dei rifiuti, alle caratteristiche del sito e alla disponibilità di mezzi ed attrezzature il sito dovrebbe prevedere:

- Localizzazione di ulteriori siti da destinare al medesimo uso, utile soprattutto nei casi di volumi di rifiuto superiori alle previsioni;
- Buche o fosse ove necessario;
- Isolamento del terreno dai contenitori con bancali o *tessuto geotessile*;
- Protezione dell'area con coperture in plastica (nome tecnico *plastic liners*);
- Ghiaia fine o sabbia distribuita alla base dell'area per proteggere le membrane e le coperture da rotture e strappi;
- Sistema di canalizzazione utile in caso di pioggia o altri scarichi di acqua;
- Processo di etichettatura affidabile, per evitare di unire rifiuti di diversa tipologia;
- Delimitazione con nastri e sorveglianza degli ingressi.

Una volta concluse le operazioni di bonifica il sito deve essere smantellato. Sarà necessaria una successiva valutazione dello stato del suolo da parte di una organizzazione specializzata, che dovrà esprimersi sulla necessità di un'eventuale ulteriore bonifica. Tutto con l'approvazione delle Autorità.

6. BONIFICA DELLE COSTE ROCCIOSE

Così come in qualsiasi altro tipo di litorale, la bonifica deve avvenire in due fasi: una prima raccolta grossolana degli eventuali accumuli catramosi, per eliminare potenziali sorgenti secondarie di inquinamento, e una successiva, più accurata, rimozione del materiale residuo, se ritenuta necessaria (Par. 3.1.4).

Usualmente viene preso in considerazione l'utilizzo di idranti e/o idropulitrici, per favorire lo scalzo del prodotto e la successiva raccolta controllata in mare. Generalmente l'utilizzo di mezzi meccanici è molto limitato e quindi la raccolta e il trasporto del materiale richiede un numero consistente di personale.



Figura 26: Usualmente la bonifica delle coste rocciose viene eseguita con l'impiego di idropulitrici (fonte CEDRE)

In considerazione delle difficoltà di accesso, inoltre, spesso è opportuno lasciare al moto ondoso il compito di rimuovere le quantità residue di idrocarburi persistenti sulle rocce, soprattutto in presenza di costa a ripa (falesie) o

con alto gradiente energetico (*costa ad alta energia*).

Gli operatori, dotati degli adeguati DPI, non dovranno mai lavorare da soli o fuori dal raggio visivo degli altri compagni di squadra. Nel caso ciò fosse inevitabile sarà fondamentale mantenersi in contatto via radio o telefono. Qualora venissero a mancare le condizioni di sicurezza, indipendentemente dal motivo, le operazioni di pulizia dovranno essere interrotte. In aggiunta all'equipaggiamento standard di sicurezza previsto per la pulizia della *costa sabbiosa*, nei casi di operazioni su costa rocciosa al personale operante devono essere forniti:

- Maschere con filtro (gli operatori potrebbero essere esposti ad aerosol carichi di particelle tossiche);
- Occhiali o visori (antiappannamento);
- Impermeabili (tipo CE categoria I);
- Elmetti (sulle scogliere esiste il rischio di caduta oggetti dall'alto);
- Imbracature di sicurezza (nei casi in cui la scogliera sia ripida).

6.1 Preparazione dell'area di bonifica

Una fase imprescindibile all'uso dell'idropulitrice ai fini della bonifica, è la preparazione dell'area per realizzare il contenimento e la raccolta del liquido inquinato che si produrrà durante le operazioni di pulizia. I punti di raccolta dei reflui del lavaggio dovrebbero essere il più vicino possibile alle zone in cui si opera sfruttando i getti d'acqua ad alta pressione. Nel caso non ci fossero zone naturali adatte si possono costruire delle piccole barriere che possano contenere la miscela acqua-olio reflua.

La raccolta dei reflui può anche avvenire in mare, posizionandovi le panne di contenimento e/o panne assorbenti e recuperando l'olio residuo con l'impiego di panni assorbenti, *skimmers* o pompe ad aspirazione, scelti a seconda delle quantità e della tipologia di idrocarburi.

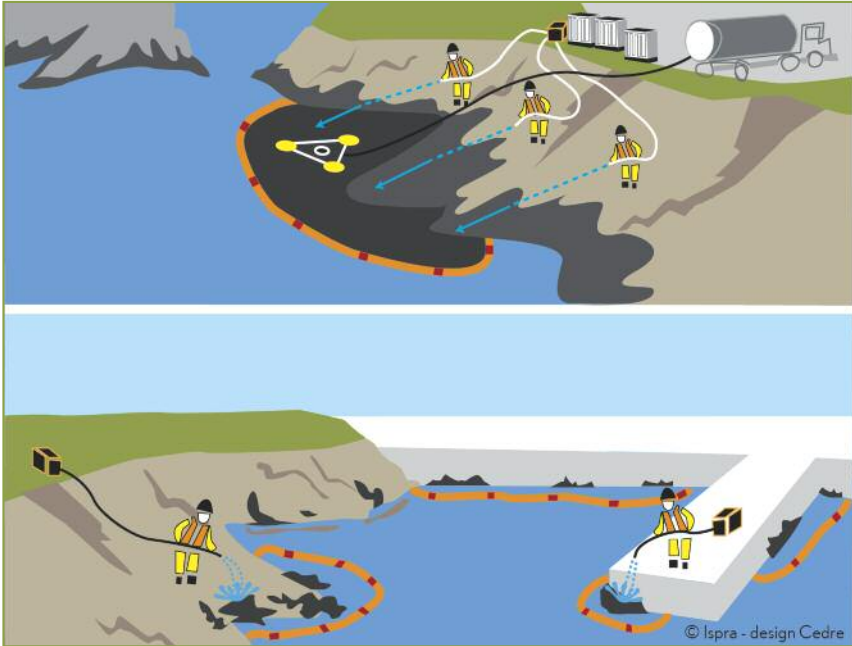


Figura 27: Esempi di rimozione e contenimento del refluo proveniente dall'azione di bonifica con idropulitrice (da terra verso costa)

Il substrato del punto di raccolta andrà coperto da geotessuto e teli di plastica per impedire la percolazione della miscela di risulta negli strati inferiori. I reflui devono essere pompati via dalle zone di raccolta, durante o ad operazioni terminate, per evitare che l'olio aderisca nuovamente al substrato. Per evitare la re-immissione degli idrocarburi in ambiente marino, in taluni casi sarà utile posizionare materiale assorbente (panne di varia tipologia o dei *pon-pon*), in presenza di canali naturali che convogliano verso il mare. Le rocce non imbrattate o appena pulite andranno protette dalle proiezioni di materiale inquinante che l'idropulitrice produce, predisponendo delle coperture tramite grandi fogli in geotessuto o in materiale assorbente.



Figura 28: Copertura dell'area di passaggio per gli operatori con geotessuto o materiale assorbente (fonte CEDRE)

In tutte le operazioni di pulizia, salvo casi particolari, gli addetti devono operare partendo da terra in direzione mare (Fig. 27), cercando di eliminare solo lo strato di prodotto inquinante. La direzione terra-mare eviterà ai reflui di inquinare nuovamente zone già bonificate.

6.2 Bonifica con idropulitrice

L'utilizzo di un'attrezzatura come l'idropulitrice richiede una adeguata esperienza dello strumento e delle tecniche specifiche. Usualmente, una squadra di dieci operatori è in grado di gestire 3 o 4 idropultrici (due operatori circa per ogni attrezzatura), prendendosi cura anche del mantenimento della stessa.

Prima di avviare la bonifica sistematica è consigliabile procedere per tentativi. Provare differenti temperature dell'acqua (fino a 80°C) e pressioni (fino a 150 bar), da adattare al livello di inquinamento e resistenza delle rocce o strutture.

Le due metodi per l'uso dell'idropulitrice:

Il getto deve essere usato in maniera lenta e metodica, dall'alto in basso, oscillando da destra a sinistra.

A - con acqua di mare riscaldata (40° C - 80° C)

Da impiegare su rocce dove non ci sono organismi viventi e sulle costruzioni di origine antropica (pavimentazione del lungomare, sulle dighe, sugli argini, sui frangiflutti, ecc.). In questi casi il getto d'acqua calda deve essere inclinato tra i 30° e i 45° e non perpendicolare alla superficie. Il getto deve formare un ampio pettine tenuto a 10-15 cm di distanza dalla roccia. Se l'olio è molto incrostato il getto può essere avvicinato fino a 5-8 cm.

B - con acqua di mare a temperatura ambiente

Da utilizzare su rocce dove si evidenzia la presenza di organismi vivi (come patelle, denti di cane, alghe incrostanti, ecc.). L'operatore deve dirigere il getto d'acqua perpendicolarmente alla superficie della roccia. Un getto obliquo, infatti, potrebbe sbriciolare materiale organico o scalzare gli organismi attaccati sulle rocce aumentandone il rischio di morte. La distanza del getto dal substrato non deve mai essere inferiore ai 30 cm.



Figura 29: Bonifica di una struttura antropica impiegando una idropulitrice

Se la roccia da pulire è estremamente ricca di cavità e piccoli buchi, l'acqua, sia riscaldata sia a temperatura ambiente, può essere mescolata con la sabbia per aumentare la forza scrostante dell'idropulitrice.

Una volta conclusa la pulizia di un piccolo settore e prima di passare al successivo, si raccomanda di sciacquare rapidamente la zona appena pulita, tenendo il getto distante 30-50 cm dal substrato, in modo da far confluire l'olio residuo staccato verso la zona di raccolta del materiale inquinante.

Le caratteristiche tecniche richieste per le idropultrici:

- 150 bar di pressione interna, con 60-70 bar di pressione alla manichetta;
- Flusso medio: da 14 a 16 litri al minuto;
- L'alimentazione di questi strumenti necessita di compressori alimentabili direttamente con l'acqua marina;
- L'acqua in uscita dalla manichetta deve poter raggiungere una temperatura compresa tra i 40° C e gli 80° C.

6.2.1 Zone in cui è sconsigliato l'uso dell'idropulitrice

In alcune condizioni l'uso di questa tecnica di *cleanup* non è raccomandabile. In particolare:

- Quando la roccia è molto fragile e soggetta a erosione, come per esempio nel caso di alcune rocce arenarie;
- Quando non è possibile raccogliere i reflui del lavaggio (scogli che si affacciano sul mare aperto dove non è nemmeno possibile posizionare delle panne assorbenti o di contenimento);
- Quando le rocce hanno una conformazione tale (troppo ripide, instabili, troppo esposte al moto ondoso, ecc.) da non permettere al personale di lavorare in sicurezza;
- Quando le rocce sono ricoperte da un gran numero di organismi bentonici vivi sia vagili, sia sessili. In questi casi il getto dell'idropulitrice rischia di staccare gli organismi dal substrato provocandone la morte.

È necessario, quindi, valutare l'uso di tecniche alternative, che generalmente consistono nella raccolta manuale con utilizzo di raschietti.

6.2.2 Uso dei materiali assorbenti

I materiali assorbenti sono utilizzati per:

- Ridurre/contenere l'estensione del versamento dell'inquinante;
- Facilitare la raccolta del prodotto grazie all'adsorbimento dello stesso;
- Recuperare i reflui generati dalle attività di bonifica.

Tutti i materiali assorbenti utilizzati devono essere raccolti e smaltiti seguendo i dettami delle norme vigenti per i rifiuti speciali. Vengono utilizzati per recuperare piccole quantità di prodotto in superficie non perturbate (specchi d'acqua o reflui dell'operazioni di bonifica). Possono essere usate anche per recuperare prodotto fresco da superfici rocciose. Esistono diverse fogge per questi tipi di materiali, utili a seconda del contesto pratico, spesso utilizzati

contemporaneamente. Per un approfondimento esaustivo dell'argomento si rimanda al quaderno n.1 dell'Emergenze ambientali in mare: "Sversamento di idrocarburi in mare: stima delle conseguenze ambientali e valutazione delle tipologie d'intervento".

Panne assorbenti (*booms*)

Le più utilizzate sono le cosiddette "panne" che grazie alla loro forma cilindrica allungata (salsicciotto) sono le più duttili come utilizzo: flessibili e racchiuse in un involucro permeabile, sono manipolabili e deformabili, spesso prodotte per rendere possibile l'aggancio fra di esse.

Nonostante il nome richiami alle panne di contenimento, in realtà questo tipo di materiale non è in grado di costituire sufficiente sbarramento a masse di prodotto importanti che galleggiano in superficie, salvo rare e favorevoli condizioni ambientali (assenza di correnti e blanda azione del moto ondoso), a causa dell'assenza di "gonne" (superficie con capacità di pescaggio nella colonna d'acqua). La loro efficacia diminuisce molto in presenza di prodotti molto viscosi. Il loro utilizzo è spesso adeguato alle aree portuali o superfici d'acqua riparate, come ausilio alle panne di contenimento.

Pòn Pòn (*mops*)

Questo tipo di materiale è costituito da filacce flessibili aggregati a formare una sorta di *pòn-pòn*.

In questo caso il prodotto non è adsorbito dal materiale, bensì intrappolato nello spazio esistente fra le filacce. Per questo motivo sono utilizzati nella raccolta di idrocarburi molto viscosi.

IDROPULITRICE AD ALTA PRESSIONE



ESTENSIONE INQUINAMENTO

Qualsiasi tipo.

IDROCARBURI

Da mediamente ad altamente modificati dai processi di weathering.



SUBSTRATO

Massi, ciottoli, rocce e strutture antropiche (moli, pareti, ecc.).



SITO

Superfici accessibili all'equipaggiamento.



FASE

Seconda fase della bonifica (pulizia di fino).



ATTREZZATURA

Idropulitrice ad alta pressione

Pompa per il prelievo diretto di acqua marina per il lavaggio o da cisterne

Sistemi di recupero: vari materiali adsorbenti

Skimmers, pompe d'aspirazione



DPI

Cerate, stivali, guanti, occhiali, maschera, copricapo.

Gli operatori sono esposti ad aerosol carichi di particelle tossiche.



IMPATTO AMBIENTALE

Possibilità di erosione del substrato in caso di terreno friabile.

Rischio di eliminazione delle popolazioni (animali e vegetali) presenti.

7. BONIFICA DELLE COSTE GHIAIOSE E CIOTTOLOSE

(classe granulometria rispettivamente 2 - 64 e 64 - 256 mm)



Figura 30: costa ciottolosa impattata

A seguito della valutazione dello stato della costa si procederà, come più volte espresso, ad una prima raccolta grossolana degli eventuali accumuli catramosi.

Esistono varie metodologie di pulizia delle spiagge ciottolose, ognuna delle quali presenterà difficoltà tecniche. Per questo motivo è importante che, per ogni singolo caso, la scelta della miglior tecnica sia attuata da personale con le adeguate capacità di valutazione.

Tutte le tecniche che prevedono la rimozione di ghiaia e ciottoli devono concludersi con il riposizionamento del materiale nella loro sede iniziale, rispettando il profilo costiero originario. Questo per evitare processi erosivi sul

medio/lungo termine. In tutte le operazioni di pulizia, salvo casi particolari, gli operatori devono partire da terra e dirigersi verso mare, cercando di eliminare solo lo strato di prodotto inquinante.

7.1 Raccolta manuale

La pulizia manuale delle spiagge ciottolose avviene usando strumenti di facile reperibilità come palette, cazzuole, spatole e altri piccoli utensili, adatti a raschiare via la maggior parte del prodotto petrolifero depositato sui ciottoli o negli spazi interstiziali. Questa tecnica viene utilizzata quando non è possibile applicare la rimozione meccanica a causa delle difficoltà di accesso all'area per i mezzi meccanici necessari.

È consigliabile immergere il materiale, prima della rimozione manuale dell'olio, in vasca, secchio, o similari, contenente una soluzione acquosa di prodotto detergente che ageverà la rimozione manuale del prodotto inquinante. Dopo aver operato la pulizia manuale bisogna immergere i ciottoli in secchio contenente acqua. Una volta risciacquati, i ciottoli vengono riposizionati nella loro posizione originaria. Le miscele residue saranno quindi trattate come rifiuto speciale.

È necessario dividere il personale per tre funzioni:

- Raccolta del materiale dalla spiaggia;
- Trattamento del materiale;
- Trasporto e posizionamento del materiale sulla spiaggia.

Bisogna effettuare turnazioni dei *team* di bonifica tra le tre attività sopra riportate. La tecnica è altamente selettiva ma richiede un elevato numero di manovalanza e di tempo.

Nel caso in cui le caratteristiche del prodotto rendano le tecniche di pulizia inefficaci ed allo stesso tempo determinino una fonte inquinante persistente, è possibile considerare la rimozione e successivo smaltimento di parte dei ciot-

toli. Data la difficoltà di spostarsi in queste aree rese particolarmente scivolose dagli idrocarburi, gli operatori si possono fermare in un punto e raccogliere il prodotto inquinante in buste di plastica, o secchi, che in seguito devono essere svuotate in recipienti di raccolta più grandi (tank, *Big bags*, ecc.), posizionati nelle vicinanze del modulo. Quando la spiaggia è inaccessibile ai veicoli si può considerare anche una catena umana per il trasporto dei contenitori dalla zona di pulizia a quella di stoccaggio del materiale inquinato. In questo caso sarà opportuno tener conto delle normative in materia di trasporto di rifiuti speciali. Nei casi più estremi i rifiuti raccolti possono essere portati via da elicotteri.

RACCOLTA MANUALE



ESTENSIONE INQUINAMENTO

Tutte le tipologie; più spesso quando la distribuzione del prodotto è discontinua.

IDROCARBURI

Media e alta viscosità.



SUBSTRATO

Qualsiasi.



SITO

Tutti i tipi, in particolare quelli difficilmente accessibili dai mezzi meccanici.



FASE

Qualsiasi.



ATTREZZATURA

Spatole, rastrelli, spazzole
Retini, vanghe, tira fango, setaccio
Container per rifiuti, big bags, bidoni, secchi
Buste di plastica
Mezzi per il trasporto del materiale raccolto



DPI

Gli operatori devono indossare almeno: stivali, tuta da lavoro, guanti in base alla tipologia dell'inquinante, al pericolo di esposizione e il tipo di attività.



IMPATTO AMBIENTALE

L'impatto di questa modalità di rimozione dipende unicamente dalla capacità del personale di essere selettivo e dalla numerosità degli operatori. Generalmente esso è minore rispetto a quello determinato dalle tecniche che prevedono l'utilizzo di mezzi meccanici.

7.2 Allagamento e dilavamento (*flooding and flushing*)

L'allagamento (*flooding*) è usato per saturare con acqua i sedimenti incoerenti e grossolani (sabbia-ghiaia-ciottoli) cosicché, per differenza di densità, gli idrocarburi fuoriescano dagli spazi interstiziali del sedimento. La tecnica è associata con la tecnica del dilavamento (*flushing*), ottenuta tramite l'utilizzo di manichette antincendio, pompe ad acqua. Questa tecnica è consigliata soprattutto nel caso di inquinamenti estesi e di prodotto poco viscoso che non ha subito eccessivi processi di invecchiamento *weathering*. L'applicazione della tecnica è naturalmente subordinata alla verifica di accessibilità dei macchinari e attrezzature necessarie e cioè:

- Compressore per il prelievo di acqua marina;
- Panne assorbenti, fogli assorbenti, panne di contenimento, *skimmer* (per il recupero dei reflui);
- Tubazione perforata (*flooding*) oppure Pompa di Venturi.



Figura 31: Allagamento e dilavamento di una costa ciottolosa (fonte CEDRE)

Come in altre tecniche, prima di procedere è opportuno allestire un sistema che faciliti il recupero degli effluenti, così come descritto nel caso della bonifica delle coste rocciose con idropulitrice (Par. 6.1).

L'azione di allagamento si ottiene pompando acqua a bassa pressione, longitudinalmente la superficie da pulire, tramite tubi da irrigazione, manichette, pompe specifiche (Pompa di Venturi). Si consiglia di utilizzare tubi flessibili perforati adagiati parallelamente alla linea di costa (anche manichette o pompe agricole) e attendere che la zona sia interamente allagata prima di procedere con l'operazione di dilavamento. L'alimentazione di questi strumenti necessita di compressori alimentabili direttamente con l'acqua marina. Il lavaggio (o dilavamento) ha lo scopo di rimuovere ed indirizzare gli effluenti ottenuti dall'operazione di allagamento. Si consiglia di procedere dividendo in transetti l'area da bonificare.

Questa tecnica può anche essere utilizzata per scalzare accumuli di prodotto intrappolato in anfratti rocciosi o massi. È particolarmente indicato per la bonifica di accumuli oleosi all'interno di massi frangiflutti o altre strutture realizzate dall'uomo.



Figura 32: Barriere frangiflutti impattate

Durante l'operazione di dilavamento è opportuno:

- Adattare la pressione alla natura del substrato per evitare erosione;
- Utilizzare un angolo di incidenza molto basso che eviti di spingere il prodotto negli strati sottostanti;
- Sostituire spesso il personale a causa del lavoro fisicamente molto oneroso.

FLOODING



ESTENSIONE INQUINAMENTO

Qualsiasi.

IDROCARBURI

Viscosità medio bassa, assenza di processi di weathering.



SUBSTRATO

Sedimento di medio/grossolana granulometria.



SITO

Battigia con scarsa pendenza con accessibilità via mare o terra per i macchinari e/o attrezzature.



FASE

Iniziale della bonifica (pulizia grossolana).



ATTREZZATURA

Manichetta
Compressore per prelievo di acqua marina
Tubazione perforata (flooding)
Pompa di Venturi
Panne assorbenti, fogli assorbenti
Panne di contenimento
Skimmer (per il recupero dei reflui)



DPI

Stivali, tuta da lavoro, guanti, occhiali protettivi (oppure maschera), elmetti da cantieri in caso di pericolo caduta rocce, cerata.



IMPATTO AMBIENTALE

Rischio di infiltrazione verticale del prodotto. Pericolo di contaminazione della spiaggia inferiore in assenza di adeguato contenimento dei reflui.

FLUSHING



ESTENSIONE INQUINAMENTO

Qualsiasi.

IDROCARBURI

Strati sottili, prodotti che non abbiano subito eccessivi processi di weathering.



SUBSTRATO

Sedimento di media/grossolana granulometria.



SITO

Con accessibilità via mare o via terra per i macchinari/attrezzature.



FASE

Iniziale della bonifica (pulizia grossolana).



ATTREZZATURA

Manichetta
Compressore per prelievo di acqua marina
Panne assorbenti, fogli assorbenti
Panne di contenimento
Skimmer (per il recupero dei reflui)



DPI

Stivali, tuta da lavoro, guanti, occhiali protettivi (oppure maschera), cerata, elmetti da cantieri in caso di pericolo caduta rocce.



IMPATTO AMBIENTALE

Può verificarsi l'infiltrazione forzata del prodotto in strati sottostanti qualora la pressione dell'acqua non sia adeguata con conseguente inquinamento degli strati inferiori.

7.3 Pulizia in gabbia

La gabbia è una struttura leggera, con pareti metalliche e base metallica perforata. Quest'ultima sarà utilizzata per contenere i ciottoli che dovranno essere lavati utilizzando una idropulitrice, mentre le pareti laterali, coperte da geotessuto, conterranno lo spray prodotto. Questa tecnica è molto efficace soprattutto se il prodotto è fresco e non ha subito processi di *weathering* e non è concrezionato al substrato.



Figura 33: Lavaggio di ciottoli in gabbia

La base può essere costituita da una griglia metallica o da una carriola perforata. Essa permetterà il defluire degli effluenti carichi della sostanza inquinante, così che possa essere raccolta in maniera controllata come già descritto per altre situazioni:

- Creare canale di scolo preferenziale;
- Creare un piccolo bacino di raccolta;
- Isolare il terreno con teloni di plastica;

- Utilizzare materiale assorbente e una pompa di aspirazione o sorbona;
- Predisporre taniche per la raccolta dei reflui derivanti.

I ciottoli che devono essere puliti possono essere tenuti insieme in contenitori a maglia reticolare di varia natura (preferibilmente di plastica, per esempio sacchi retinati per le reste dei mitili, cassette di plastica perforate, ecc.) facilmente reperibili o autoprodotti. Questo eviterà di proiettare i ciottoli fuori della gabbia a causa dell'elevata pressione delle idropultrici e consentirà anche di ruotare i ciottoli agevolmente per una pulizia più accurata.

Durante l'operazione, a seconda della resistenza del prodotto, può essere necessario aumentare la pressione e la temperatura gradualmente, partendo dai valori più bassi.

Anche in questo caso è consigliabile che diversi operatori si diano il cambio nelle tre fasi principali dell'operazione: lavaggio, controllo attrezzatura, controllo raccolta reflui.

Durante il lavaggio possono essere utili:

- Solventi autorizzati che favoriscano l'asportazione del prodotto (quando la sola acqua non sia efficace);
- Utensili per maneggiare i ciottoli (forconi, vanghe);
- Una volta pulito, il sedimento deve essere ricollocato nella sua sede iniziale, rispettando il profilo costiero originario. Questo per evitare processi erosivi sul medio/lungo termine.

Così come nel caso della pulizia delle rocce con idropultrice, anche in questo caso è necessario utilizzare DPI e in aggiunta all'equipaggiamento standard:

- Maschere con filtro, gli operatori sono esposti ad aerosol carichi di particelle tossiche;
- Occhiali o visori (antiappannamento);
- Impermeabili (tipo CE categoria I) ove necessario.

LAVAGGIO CIOTTOLI IN GABBIA



ESTENSIONE INQUINAMENTO

Inquinamento di medie e piccole dimensioni.

IDROCARBURI

Qualsiasi tipo, tranne i casi in cui i processi di weathering abbiano agito per molto tempo rendendo il prodotto non rimovibile.



SUBSTRATO

Ghiaia, ciottoli.



SITO

Superfici accessibili all'equipaggiamento.



FASE

Seconda fase della bonifica (pulizia di fino).

ATTREZZATURA

Gabbia
Idropulitrice ad alta pressione con temperatura modulabile
Teli di geotessuto
Rivestimenti in plastica
Pale, forconi, carriole
Sistemi di pompaggio e stoccaggio reflui



DPI

Cerate con cappuccio (coprirsi il capo), stivali, guanti, occhiali protettivi.



IMPATTO AMBIENTALE

Si può verificare un impatto se il sistema di recupero dei reflui non è efficiente.

7.4 Lavaggio in betoniera

Questo metodo viene applicato preferibilmente su spiagge i cui ciottoli siano di dimensioni inferiori ai 5 cm circa. È consigliabile avviare questa tecnica di bonifica dopo aver eliminato manualmente i maggiori accumuli di prodotti oleosi, quindi nella seconda fase (di fino).

La spiaggia deve avere una via accessibile che permetta il trasporto della betoniera sul posto. La betoniera deve avere delle dimensioni tali che permettano di trasportarla e di posizionarla sull'arenile. Qualora non esistesse una via accessibile potrebbe essere necessario operare nei pressi della medesima spiaggia di intervento. In questo caso sarà opportuno tener conto delle normative in materia di trasporto di rifiuti speciali.

I ciottoli raccolti vengono inseriti nella betoniera. Quindi si aggiunge un solvente idoneo a disciogliere efficacemente gli idrocarburi e si lascia agire per qualche minuto; infine si aggiunge acqua di mare, preferibilmente riscaldata, per l'operazione di lavaggio. Per migliorare l'efficacia della pulizia è consigliabile anche aggiungere della sabbia. Anche in questo caso la tecnica è molto efficace soprattutto se il prodotto è fresco e non ha subito processi di *weathering* e non è molto adeso al substrato.



Figura 34: Lavaggio dei ciottoli in betoniera (fonte CEDRE)

Allo scopo di minimizzare il volume del refluo di lavaggio, che dovrà essere gestito come rifiuto, le quantità di acqua, del solvente, della sabbia e i tempi necessari per il lavaggio in betoniera, saranno stabiliti con un test preliminare. Generalmente sono sufficienti cicli da 10-15 minuti.

Al termine del lavaggio il contenuto della betoniera verrà riversato in un recipiente munito superiormente di una griglia idonea a trattenere i ciottoli e a far passare il liquido di lavaggio. I ciottoli, ancora sulla griglia verranno quindi ulteriormente lavati con acqua di mare tramite una idropulitrice, per eliminare i residui di solvente e/o idrocarburi, e riposizionati sulla spiaggia avendo cura di mantenere il profilo della spiaggia originario.

LAVAGGIO CIOTTOLI IN BETONIERA



ESTENSIONE INQUINAMENTO

Inquinamento di medie e piccole dimensioni.

IDROCARBURI

Qualsiasi tipo, tranne i casi in cui i processi di **weathering** abbiano agito per molto tempo.



SUBSTRATO

Ghiaia, ciottoli (≤ 5 cm).



SITO

Superfici piane. La spiaggia deve avere una via accessibile che permetta il trasporto della betoniera sul posto.



FASE

Seconda fase della bonifica (pulizia di fino).

ATTREZZATURA

Betoniera
Solventi (se necessario)
Idropulitrice a bassa pressione
Griglia metallica (scolo, risciacquo)
Pale, forconi, carriole (raccolta ciottoli)
Sistemi di pompaggio e stoccaggio reflui



DPI

Cerate, stivali, guanti, protezioni per l'udito, occhiali di protezione.



IMPATTO AMBIENTALE

Si può verificare un impatto se il sistema di recupero dei reflui non è efficiente e se si usano solventi. Un effetto corrosivo può essere determinato dalla errata ricollocazione dei ciottoli nella sede di origine i ciottoli.

7.4.1 Lavaggio in vasca

Dopo aver effettuato la pulizia grossolana per eliminare i grandi accumuli oleosi, si può creare una vasca, sfruttando la conformazione naturale della spiaggia e i massi presenti nella zona. Durante la movimentazione dei ciottoli, che può essere eseguita anche con l'ausilio di macchinari, è importante non danneggiare lo strato di sabbia su cui i ciottoli poggiano. Una volta costruita la vasca è necessario impermeabilizzarne il fondo e le pareti. Ciò avviene prevedendo tre strati:

- Il primo strato è un telo di polietilene semirigido spesso 1,5 mm
- Il secondo è uno strato di plastica
- Il terzo è uno strato di geotessuto (120g/m²)

Una volta rivestita la vasca si posizionano i ciottoli e le pietre al suo interno e la vasca viene riempita con acqua di mare fino a sommergere completamente i ciottoli. Una prima pulizia può essere eseguita manualmente così come riportato nel paragrafo 7.1.

Questa tecnica richiede un tempo di attesa durante il quale i ciottoli rimangono immersi nella vasca e il prodotto inquinante si ammorbidisce. Il tempo di attesa varia ma in generale si tratta almeno di una decina di giorni. Il prodotto ancora adesivo verrà poi rimosso tramite idropulitrice.

La vasca deve essere svuotata con una pompa che convoglia il refluo inquinato in contenitori adatti. Il successivo lavaggio con l'idropulitrice viene effettuato direttamente all'interno della vasca in modo tale che la struttura venga smantellata solo quando i ciottoli sono puliti. Tutti i reflui di questa tecnica (acqua della vasca e reflui derivanti dal lavaggio con idropulitrice) devono essere trattati come rifiuti. Quindi, se non applicata con accortezza, il rischio è di produrre grandi quantità di rifiuti liquidi.

Una volta completato il processo, gli strati usati per impermeabilizzare la vasca devono essere rimossi ed i ciottoli e i massi spostati per creare la vasca devono essere riportati nella posizione originaria.

LAVAGGIO CIOTTOLI IN VASCA



ESTENSIONE INQUINAMENTO

Inquinamento di medie e piccole dimensioni.

IDROCARBURI

Qualsiasi tipo, tranne i casi in cui i processi di weathering abbiano agito per molto tempo.



SUBSTRATO

Ghiaia, ciottoli.



SITO

Superficie di bassa pendenza.



FASE

Seconda fase della bonifica (pulizia di fino).

ATTREZZATURA

Teli di polietilene semirigido (1,5 mm)

Teli di plastica

Teli di geotessuto (120g/m²)

Griglia metallica (scolo, risciacquo)

Pale, forconi, carriole (raccolta ciottoli)

Macchine movimento terra (vasca grande dimensioni)

Sistemi di pompaggio e stoccaggio reflui



DPI

Ceratte, stivali, guanti, protezioni per l'udito, occhiali di protezione.



IMPATTO AMBIENTALE

Si può verificare un impatto se il sistema di recupero dei reflui non è efficiente, un effetto erosivo può essere determinato dalla errata ricollocazione dei ciottoli nella sede d'origine.

8. BONIFICA DELLE COSTE SABBIOSE

(classe granulometrica: 0,063 - 2 mm)

La rimozione degli idrocarburi da un tratto di *costa sabbiosa* potrebbe apparire, erroneamente, meno dispendiosa e complessa. A causa dell'estrema mobilità dei sedimenti di cui è composta, però, il lavoro di rimozione del prodotto e della sabbia contaminata deve essere assolutamente attento e meticoloso, per non arrecare ulteriori danni all'ecosistema.

L'equilibrio dinamico, dovuto alla continua interazione tra mare e sedimento sabbioso, che avviene tra la zona di battigia e quella della berma ordinaria o di tempesta, può determinare diverse modalità di stratificazione dell'inquinante. Il prodotto petrolifero, infatti, può depositarsi sulla spiaggia in vari modi.

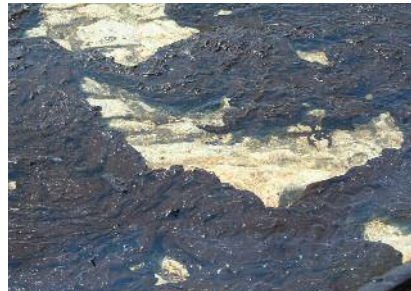
Strato uniforme spesso

Strato di alcuni centimetri di spessore, successivo ad un versamento in condizioni di scarso idrodinamismo



Strato soffice e spesso (chocolate mousse)

Spessore di alcune decine di centimetri, derivante dal processo di emulsione (acqua in olio, dovuta all'azione cinetica del moto ondoso) che conferisce al prodotto l'aspetto di una vera e propria "mousse"



Farcitura sottostante la superficie

È questo il caso in cui uno strato di prodotto viene ricoperto da sedimento non contaminato grazie all'elevato regime sedimentario dell'area. Si formerà quindi una farcitura sottostante la superficie sabbiosa. In presenza di grossi escursioni di marea o notevoli apporti sedimentari questo processo può ripetersi più volte, portando alla formazione di una farcitura a strati



Strato misto

Strato, superficiale o sepolto, costituito da una mescolanza fra sedimento e olio, in proporzioni variabili, in base alle caratteristiche del moto ondoso e del prodotto spiaggiato



Placche o chiazze di dimensioni variabili

Aspetto dovuto al *weathering* che frammenta una chiazza iniziale di maggiori dimensioni, in chiazze più piccole successivamente spiaggiate spesso di consistenza catramosa



Zebratura ad onde

Il prodotto spiaggiato viene distribuito sulla spiaggia dalle onde, in piccole quantità, depositandosi in sottili strisce lungo la linea di battigia, in corrispondenza della linea di massima ondazione



Frammenti catramosi (tar balls)

Grumi di residui catramosi dovuti al processo di *weathering*, tipici di una fase molto tardiva della dispersione del prodotto dopo l'incidente



Alcuni fattori influenzano in modo determinante la capacità di penetrazione dell'olio nella sabbia. La comprensione di questi ultimi è utile per definire le tecniche di pulizia più efficaci:

- Viscosità

Oli molto viscosi e prodotti emulsionati (*mousse*) tendono a penetrare meno in profondità rispetto a prodotti con bassa viscosità, come ad esempio i prodotti raffinati leggeri (diesel e benzina);

- *Granulometria*

Più sono grandi le dimensioni della sabbia e più facilmente il prodotto penetra negli spazi interstiziali di quest'ultima;

- *Drenaggio*

Se i sedimenti sono poco drenati il contenuto d'acqua può prevenire la penetrazione dell'olio. Al contrario, in sedimenti ben drenati l'olio può raggiungere profondità anche di un metro;

- Organismi scavatori

La penetrazione dell'olio nei sedimenti raggiunge profondità maggiori se sono presenti animali scavatori come ad esempio vermi e crostacei.

Successivamente alla valutazione dello stato della costa si procederà, come più volte espresso, ad una prima raccolta grossolana degli eventuali accumuli catramosi, per poi valutare la possibilità di una seconda fase di pulizia. È importante che la scelta della miglior tecnica sia effettuata tenendo conto anche della disponibilità di personale adeguato.

Per quanto riguarda le coste fangose, ovvero quelle spiagge formate da sedimenti di dimensione minore a 0,063 millimetri, si usano le stesse tecniche e le stesse procedure descritte per la costa sabbiosa. Le principali differenze sono dettate, da un lato, dalla minore capacità del petrolio di penetrare nel fango e, dall'altro, dalla maggiore difficoltà delle attività di setacciamento rispetto alla sabbia.

8.1 Raccolta manuale

Tale tecnica può essere impiegata nella fase di bonifica di fine, dopo aver effettuato la bonifica grossolana con mezzi meccanici (vd. anche scheda riassuntiva, par. 7.1). Anche in caso di una presenza estensiva di prodotto oleoso viscoso, il recupero manuale può essere molto efficace.

L'attrezzatura base che è necessario prendere in considerazione è la seguente:

- Scope, rastrelli, quando il prodotto si presenta sotto forma di palline di catrame, di zebratura o di piccole placche;
- Setacciatori manuali, utili anch'essi per materiale di consistenza catramosa. Vengono usualmente utilizzati negli stabilimenti balneari per pulire gli arenili dai rifiuti solidi;

- Pale o *tirafango* nel caso in cui si debba provvedere alla rimozione delle placche di dimensioni più grandi o di uno strato continuo superficiale;
- Container per rifiuti, *Big bags*, bidoni, secchi, buste di plastica;
- Mezzi per il trasporto del materiale raccolto.



Figura 35: Raccolta manuale di prodotto oleoso

In tutte le operazioni di pulizia gli operatori devono, salvo casi particolari, partire da terra e dirigersi verso mare, cercando di eliminare solo lo strato di prodotto inquinante, cercando di minimizzare la quantità di sabbia pulita raccolta.

Tutti i prodotti petroliferi emulsionati (*chocolate mousse*) sono molto più viscosi ed elastici rispetto al prodotto originario versato. La loro rimozione manuale è possibile tramite pale o vanghe. In questi casi la raccolta manuale è spesso la metodologia di bonifica preferibile.



Figura 36: Prodotto petrolifero emulsionato (*chocolate mousse*)

Quando il prodotto si presenta sepolto sotto uno strato superficiale di sabbia, a seconda dello spessore dello strato di sabbia pulita che lo ricopre e della quantità di prodotto petrolifero, la raccolta manuale deve prevedere lo spostamento della sabbia pulita superficiale e la successiva rimozione degli strati inquinati anche con l'aiuto di setacci a mano.

È necessario dividere il personale per tre funzioni:

- Raccolta, raschiamento, accumulo;
- Deposizione nei contenitori di raccolta;
- Trasporto in sito di stoccaggio.

Bisogna effettuare turnazioni dei *team* di bonifica tra le tre attività sopra riportate. La tecnica è altamente selettiva ma richiede un elevato numero di manovalanza e di tempo.

Il prodotto rimosso deve essere mano a mano conferito in fusti omologati e catalogati in maniera utile al successivo smaltimento. È possibile utilizzare sec-

chi o buste di plastica per portare il prodotto dal punto in cui si sta pulendo sino ai fusti o sino al sito di stoccaggio temporaneo.

L'impatto di questa modalità di rimozione dipende unicamente dalla capacità del personale di essere selettivo e dalla numerosità degli operatori. Generalmente esso è minore rispetto a quello determinato dalle tecniche che prevedono l'utilizzo di mezzi meccanici, sostanzialmente per due ordini di motivi:

- Presenta un minore potenziale effetto erosivo
- Determina una minore produzione di volumi di rifiuto poiché aumenta la percentuale di prodotto inquinante recuperato.

8.2 Recupero meccanico

In presenza di litorali ampi e accessibili, numero inadeguato di operatori disponibili per la raccolta manuale, inquinamento estensivo e continuo, si può valutare la possibilità di operare con l'ausilio di piccole ruspe (macchine movimento terra) in tempi rapidi.



Figura 37: Mezzo per la raccolta meccanica

Attenzione: l'uso improprio di mezzi meccanici (quali ruspe) può determinare l'erosione della costa, un enorme aumento del volume dei rifiuti da trattare e un approfondimento del prodotto inquinante negli strati sabbiosi inferiori. Ne consegue che la decisione di ricorrere a tale tecnica deve essere presa dopo aver considerato tali possibili conseguenze negative.

È necessario suddividere la superficie in transetti adiacenti successivi e recuperare il prodotto dall'interno verso riva. I possibili mezzi meccanici da impiegare sono generalmente i seguenti:

Terna

Munita di pala anteriore e braccio escavatore posteriore



Bulldozer

Provvisto di pala meccanica e di cingoli. La presenza di cingoli però può favorire l'insabbiamento profondo del prodotto



Trattore

Munito di lama anteriore metallica, utile soprattutto nel caso di un inquinamento continuo e spiaggia senza la presenza di ondulazioni (*ripple marks*)

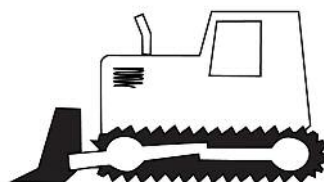




Figura 38: Mezzi meccanici

Il rifiuto risultante da queste operazioni sarà una miscela di idrocarburi mescolati con acqua e sedimento. Usualmente il rapporto sedimento/idrocarburi del materiale raccolto è di gran lunga superiore a quello del materiale raccolto applicando metodiche di bonifica manuale. Per raggiungere risultati accettabili, e cioè con almeno il 20 % di prodotto, è necessario:

- Riferirsi a personale specializzato;
- Stabilire *a priori* sino a quando continuare a operare con i mezzi meccanici;
- Evitare di creare contaminazione secondaria manovrando su porzioni non contaminate di substrato.

RECUPERO MECCANICO



ESTENSIONE INQUINAMENTO

Inquinamento di grandi dimensioni.

IDROCARBURI

Fluido o leggermente viscoso.



SUBSTRATO

Spagge molto ampie a granulometria fine molto umide o sature, in grado di formare superficie piane e compatte (senza ripple-marks, rugosità della superficie sabbiosa).



SITO

Accessibilità e capacità di sopportare il traffico di mezzi movimento terra e le manovre degli stessi.



FASE

Iniziale della bonifica (pulizia grossolana).



ATTREZZATURA

Terna
Bulldozer
Trattore



DPI

Gli operatori devono indossare almeno: stivali, tuta da lavoro, guanti in base alla tipologia dell'inquinante, al pericolo di esposizione e il tipo di attività.



IMPATTO AMBIENTALE

L'impatto ambientale è più evidente di quello determinato applicando metodiche di bonifica manuale. Infatti la possibile rimozione di sedimento, a causa della minore selettività di raccolta, può determinare modificazioni del profilo di costa. Anche la pressione dei mezzi sul substrato può causare modificazioni importanti.

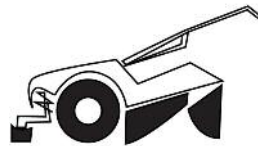
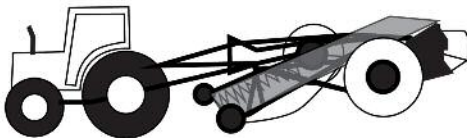
8.3 Raccolta dell'olio con setaccio meccanico

La tecnica rientra tra le tipologie di rimozione meccanica e prevede l'utilizzo dei cosiddetti "pulisci spiaggia" meccanici, utilizzati generalmente per la pulizia degli arenili negli stabilimenti balneari. Una lamina vibrante penetra nel sedimento sollevando parte dello strato superficiale, il quale viene successivamente spinto in una cinghia con nastro a maglia dove avviene il setacciamento. Gli elementi che sono di dimensioni superiori al vuoto di maglia del setaccio vengono accumulati in un raccogliitore alla fine della cinghia.

Esistono diversi modelli sul mercato:

A motore con spinta direzionale dell'operatore

Montati su vetture (posteriormente o anteriormente)



Il setacciamento deve avvenire a velocità moderata ed è necessario controllare regolarmente lo stato del setaccio nonché il grado di efficacia di bonifica della spiaggia. La guida dei mezzi deve essere consentita ad operatori esperti, informati delle procedure dalle Autorità competenti, specialmente in tema di tutela ambientale.

La tecnica del setaccio meccanico è molto efficiente in presenza di residui oleosi frammentati e viscosi, di consistenza catramosa (*tar balls*) oppure nel caso di detriti imbrattati. È una tecnica che viene utilizzata soprattutto nella fase della pulizia di fine, a distanza di qualche giorno dallo sversamento, quando i processi di *weathering* hanno determinato l'aumento della viscosità del prodotto. L'applicazione del metodo quando il prodotto è fresco e poco viscoso non è consigliabile, poiché

l'olio non si stacca dal vaglio e non viene quindi raccolto nell'opportuno contenitore. Inoltre, la frammentazione del prodotto può rendere più complessa la pulizia con altra tecnica. La tecnica può essere utile anche per il recupero preventivo dei rifiuti solidi prima dello spiaggiamento delle chiazze di idrocarburi.

Il rifiuto prodotto è solido o semisolido ed eterogeneo, con una prevalenza di materiale catramoso misto a sedimento. Una percentuale accettabile è di almeno il 20% di prodotto. Percentuali inferiori derivano da cattivo applicazione della tecnica e non sono considerate positive.

SETACCIO MECCANICO



ESTENSIONE INQUINAMENTO

Grandi e medie dimensioni.

IDROCARBURI

Frammenti di prodotto viscoso e catramoso (tar balls) oppure detriti imbrattati.



SUBSTRATO

Sabbioso con granulometria omogenea (a seconda delle caratteristiche dell'apparecchiatura), con scarsa o nulla presenza di elementi ingombranti (pietre, conchiglie).



SITO

Spiagge con scarsa pendenza. Accessi percorribili e spazi per manovre di mezzi ingombranti.



FASE

Seconda fase della bonifica (pulizia di fino).



ATTREZZATURA

"Pulisci spiaggia"

Trattori per il traino dei "pulisci spiaggia" di dimensioni maggiori



DPI

Scarpe antinfortunistica, tuta, guanti.



IMPATTO AMBIENTALE

Rischio di eccessivo asporto di sedimento. Modificazione del profilo con conseguente erosione. Possibile frammentazione del prodotto con conseguente aumento di complessità della bonifica.

8.4 Recupero con le reti

Rappresenta una tecnica di non largo utilizzo che può essere applicata in combinazione con le altre tecniche prima descritte. Consiste nello sfruttamento della capacità delle reti, a maglie strette, di catturare i residui sferici di idrocarburi catramosi (*tar balls*) solitamente viscosi. Le reti vengono adagiate sulla battigia e ancorate permettendo una loro estensione nella zona di frangenza delle onde.

Le reti vanno adattate alle esigenze dell'area di bonifica. Questa tecnica è utile per prevenire lo spiaggiamento di prodotto secondario frammentato a causa del *weathering* una volta che la sorgente principale sia stata eliminata. È consigliabile controllare le reti più volte al giorno, per evitare che vengano seppellite dall'eccessiva sedimentazione o movimentate dal moto ondoso; devono essere sostituite in caso di eccessivo imbrattamento. E' necessario controllare periodicamente l'ancoraggio che può essere costituito da semplici pietre anche interrato. Le reti più adeguate sono quelle a maglie strette (esempio quelle impiegate per la raccolta delle olive, oppure utilizzate lungo le recinzioni antivento).

Il rifiuto principale rappresentato da questa tecnica sono le reti stesse, possono essere diversamente imbrattate in base alla quantità e tipologia del prodotto. Possono essere quindi riutilizzate o sostituite e necessariamente trattate come rifiuto speciale. Non è un metodo di per sé impattante a livello ambientale a meno che non si usino le dovute cautele nella disposizioni delle reti (ancoraggio insufficiente ecc.).

RETI



ESTENSIONE INQUINAMENTO

Inquinamento di medie e grandi dimensioni.

IDROCARBURI

Viscosità medio alta.



SUBSTRATO

Tutti.



SITO

Qualsiasi in grado di consentire il fissaggio delle reti.



FASE

Seconda fase della bonifica (pulizia di fino).



ATTREZZATURA

Reti a maglie strette, sistemi di ancoraggio (pietre etc.)

Scavatrice (per creare punti di ancoraggio)



DPI

Stivali, tuta da lavoro, guanti.



IMPATTO AMBIENTALE

Non è un metodo di per sé impattante a livello ambientale a meno che non si usino le dovute cautele nella disposizioni delle reti (ancoraggio insufficiente etc.).

8.5 Allagamento e dilavamento (*flooding and flushing*)

Questa tecnica, descritta per la bonifica di coste con sedimenti incoerenti e grossolani (vedi paragrafo 7.2 per un maggior approfondimento), risulta efficace anche per i litorali sabbiosi. La rimozione degli idrocarburi dagli strati superficiali e sub-superficiali avviene grazie all'infiltrazione di acqua di mare a bassa pressione sotto la superficie della sabbia. L'olio, intrappolato sotto la sabbia fra gli spazi interstiziali, risale in superficie a causa della sua minore densità rispetto a quella dell'acqua. Sarà rimosso con l'uso di materiale assorbente (*pon-pon*, fogli di tessuto oleofilo) o, in presenza di grandi quantitativi, tramite *skimmers*.

In questo caso è necessario preparare l'area di lavoro mettendo nelle vicinanze del getto (circa uno/due metri di distanza) delle panne assorbenti e, nella zona di mare antistante le operazioni, delle panne di contenimento costiere che impediscano all'olio di disperdersi in mare. Questa tecnica deve essere diretta da personale esperto in condizioni di mare calmo o poco mosso.

La movimentazione del prodotto risalito in superficie può essere direzionato nei punti di raccolta tramite la tecnica del dilavamento come espresso nel paragrafo 7.2.

Alofilo

Piante o animali che preferiscono terreni salmastri.

Big bags

Contenitore flessibile di misure standard (un metro cubo di volume) utilizzato per trasportare e immagazzinare prodotti solidi sfusi come ad esempio fertilizzanti o plastica in granuli, ma anche fanghi e rifiuti.

Biocenosi

Comunità di organismi che vivono in interconnessione tra loro e che caratterizzano una certa area (biotopo).

Biotopo

Area in cui vivono organismi di una stessa biocenosi.

Costa ad alta energia

Tratto di litorale esposto ai movimenti del mare, soprattutto al moto ondoso. Solitamente le coste ad alta energia sono caratterizzate da una maggiore granulometria dei sedimenti e da una più accentuata pendenza.

Costa ciottolosa

Tratto di litorale caratterizzato da materiale sedimentario di granulometria prevalente compresa tra 60 e 250 millimetri.

Costa sabbiosa

Tratto di litorale caratterizzato da materiale sedimentario di granulometria prevalente compresa tra 0,064 e 2 millimetri.

Drenaggio

Indica la capacità di infiltrazione dell'acqua nel sedimento che costituisce il litorale.

Fitocenosi

Associazione di piante che instaurano un profondo legame di interdipendenza, costituendo una formazione vegetazionale con precisi caratteri insediativi ed evolutivi. È considerata l'unità fondamentale della vegetazione, in quanto comunità biologica di piante propria di un ecosistema.

Granulometria

Proprietà delle particelle che compongono una roccia sedimentaria, un suolo, un terreno legata esclusivamente alle dimensioni e non alla natura chimica e mineralogica. Una delle scale di classificazione granulometrica più comunemente usate è la Scala di Wentworth.

Inquinamento secondario

Il trasporto involontario di prodotto petrolifero, a causa delle attività di risposta, da una zona inquinata ad una intatta.

GLOSSARIO DEI TERMINI

Mousse

Emulsione di acqua in olio derivante dall'azione delle onde sui prodotti petroliferi viscosi.

Sessile

Organismo ancorato al substrato e non dotato di alcuna capacità di spostamento.

Tessuto geotessile

Noto anche con il nome di "tessuto non tessuto" è costituito da fibre sintetiche coesionate tramite un processo meccanico denominato agugliatura o attraverso processi termici. La materia prima utilizzata può essere diversa: poliestere, polipropilene, polietilene.

Tirafango

Rastrello senza dentatura che si utilizza per distribuire uniformemente l'asfalto durante la posa del manto stradale.

Unità fisiografiche costiere

Tratti di costa caratterizzati da omogenee caratteristiche sedimentarie e granulometriche.

Vagile

Organismo che ha la possibilità di movimento sul substrato (es. gli anfipodi, isopodi, policheti).

Weathering

Processo di invecchiamento del prodotto dovuto all'esposizione all'ambiente marino che ne modifica le caratteristiche chimico-fisiche.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

Centre de Documentation, de Recherche et d'Experimentations sur les pollutions accidentelles des eaux (CEDRE), 2011. Guidance on Waste Management during a Shoreline Pollution Incident. www.cedre.fr

Centre de Documentation, de Recherche et d'Experimentations sur les pollutions accidentelles des eaux (CEDRE), 2006. Surveying Sites Polluted by Oil: an Operational Guide for Conducting an Assessment of Coastal Pollution. www.cedre.fr

IMO/UNEP(2009). Mediterranean Guidelines on Oiled Shoreline Assessment, Regional Information System, Part D, Operational Guides and Technical Documents, Section 13. Valletta: REMPEC.

International Petroleum Industry Environmental Conservation Association (IPIECA). Guidelines for Oil Spill Waste Minimization and Management. London: IPIECA, 2004. Vol. 12. www.ipieca.org

International Tanker Owners Pollution Federation Ltd (ITOPF), 2011. Recognition of Oil on Shorelines – Technical Information Paper Number 6. www.itopf.com

International Tanker Owners Pollution Federation Ltd (ITOPF), 2011. Cleanup of Oil from Shorelines – Technical Information Paper Number 7. www.itopf.com

Legambiente, Clean up the Med, Protezione Civile Italiana. (2007). Il Volontariato di Protezione Civile nella Lotta agli Inquinamenti Accidentali della Costa da Idrocarburi. Manuale Tecnico per il concorso del volontariato nella pulizia delle coste in caso di versamento in mare di prodotti petroliferi.

POSOW project (2013). Oiled Wildlife Response Manual. Realizzato nell'ambito del progetto europeo POSOW (Preparedness for Oil-polluted Shoreline and Oiled Wildlife response) da REMPEC, ISPRA, CEDRE, Sea Alarm, CRPM (www.posow.org/documentation/manual).

POSOW project (2013). Oiled Shoreline Assessment Manual. Realizzato nell'ambito del progetto europeo POSOW (Preparedness for Oil-polluted Shoreline and Oiled Wildlife response) da REMPEC, ISPRA, CEDRE, Sea Alarm, CRPM (www.posow.org/documentation/manual).

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

POSOW project (2013). Oiled Shoreline Cleanup Manual. Realizzato nell'ambito del progetto europeo POSOW (Preparedness for Oil-polluted Shoreline and Oiled Wildlife response) da REMPEC, ISPRA, CEDRE, Sea Alarm, CRPM (www.posow.org/documentation/manual).

POSOW project (2013). Oil Spill Volunteer Management Manual. Realizzato nell'ambito del progetto europeo POSOW (Preparedness for Oil-polluted Shoreline and Oiled Wildlife response) da REMPEC, ISPRA, CEDRE, Sea Alarm, CRPM (www.posow.org/documentation/manual).

Wentworth C. K.. J. Geology V. 30, 377-392 (1922). A scale of grade and class terms for clastic sediments.