



Finanziato
dall'Unione Europea
New Generation EU



Ministero dell'Interno



Città Metropolitana di Palermo

Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza – Piani Urbani Integrati - MSC2 – Intervento 2.2b



Comune di Palermo
Area della Pianificazione Urbanistica



Parco a mare allo Sperone

PIANO DELLE INDAGINI INTEGRATIVE

Agosto 2022

RELAZIONE

Il Sindaco: Prof. Roberto Lagalla

L'Assessore: Dott. Andrea Mineo

Il Capo Area: Dott. Sergio Maneri

Il R.U.P.: Arch. Giovanni Sarta

Staff del RUP: arch. Giuseppina Liuzzo, arch. Achille Vitale, Ing. Gesualdo Guarnieri, Dott. Francesco La Vara, D.ssa Caterina Tardibuono,
D.ssa Patrizia Sampino.

La coordinatrice della progettazione: Ing. Deborah Spiaggia

Il gruppo di progettazione: Geologo Gabriele Sapio;

Biologo Fabio Di Piazza;

arch. Dimitrios Katsireas; Funz. tecn. arch. Marcantonio Virgadamo (responsabile sicurezza in fase di progettazione).

Sommario

1. PREMESSA	3
2. FINALITÀ DEL DOCUMENTO.....	4
2.1 Piano preliminare di utilizzo in sito delle terre e rocce da scavo.....	4
3. PIANO INDAGINI.....	6
3.1 Indagini geologiche pregresse svolte sul sito.....	6
3.2 Indagini ambientali pregresse svolte sulla costa sud	6
3.2.1. <i>Presso il porto della Bandita</i>	6
3.2.2. <i>Presso l'ex discarica di Acqua dei Corsari</i>	9
3.2.3 <i>Indagini nel tratto di costa che insiste presso la Foce dell'Oreto</i>	12
3.3 Caratterizzazione stratigrafica, idrogeologica, geotecnica e sismica.....	14
3.4 Analisi ambientali su suolo e acqua	16
3.5 Analisi ambientali su comparto marino	21
4. PIANO DI CARATTERIZZAZIONE.....	31
5. RILIEVO TOPOGRAFICO DELLA LINEA DI COSTA E DELLA SPIAGGIA EMERSA	41
6. RILIEVO BATIMETRICO E MORFOLOGICO DELLA SPIAGGIA SOMMERSA E DELLE CORRENTI MARINE	42
7. INDAGINI ARCHEOLOGICHE	43
7.1 Rilievo Sub Bottom Profiler e Magnetometrico	43
8. DEFINIZIONE DELLA MODALITA' DI ACCESSO	46

ALLEGATI

Allegato A) - Risultati precedenti indagini

1. PREMESSA

Nella presente relazione è descritto il piano delle indagini a corredo del Progetto di Fattibilità Tecnico Economica relativo all'intervento denominato **"Parco a mare allo Sperone"**, presentato a valere sui fondi PNRR, Misura M5C2: INFRASTRUTTURE SOCIALI, FAMIGLIE, COMUNITÀ E TERZO SETTORE – Intervento 2.2 - Piani Urbani Integrati nelle città Metropolitane.

L'intervento riguarda l'ex discarica di materiali di scavo e di inerti derivanti da lavori edili sita presso via Messina Marine nel tratto che va da via Maresciallo Armando Diaz fino a Largo Bajamonte. Presso il fronte a mare interessato, di circa 800 metri lineari, il conferimento dei materiali ha determinato un avanzamento della linea di costa di circa 200 metri lineari con formazione di un promontorio artificiale che, in alcuni punti, raggiunge i dieci metri sul livello del mare. L'area, di circa 130.000 mq, è oggi pressoché inaccessibile e quasi del tutto non utilizzata. Considerata la natura del materiale che costituisce detto promontorio artificiale, il fronte a mare è interessato da un celere processo di erosione, che costituisce una minaccia per i limitrofi tratti di spiaggia, interessati dal deposito dei sedimenti erosi, e grave elemento di depauperamento e degrado paesaggistico del fronte a mare della città. La presenza, lungo la strada, di funzioni estranee alla vocazione dei luoghi, contribuisce ad accentuare le condizioni di difficile utilizzabilità dell'area e ad incrementare le generali condizioni di degrado.

Con il progetto si prevede la caratterizzazione ed eventuale bonifica ambientale dei terreni, la rimodulazione del suolo, l'attuazione di misure di contenimento del fenomeno di erosione costiera (realizzazione opera di rinforzo e protezione al piede della scarpata e barriera soffolta), la trasformazione del tratto di costa in un parco a mare, da consegnare all'uso della collettività insediata nei quartieri limitrofi, poveri di spazi collettivi ed aree a verde.

Nell'ambito del nuovo parco, da realizzare con la messa a dimora di nuove essenze autoctone, si prevede di realizzare circa ml 1.200 di percorsi ciclopedonali, utilizzabili anche da persone non deambulanti, aree di sosta e di collocare opere d'arte, attrezzature e giochi per bambini.



Fig.1 - Planimetria generale di progetto

2. FINALITÀ DEL DOCUMENTO

Il presente elaborato viene redatto al fine fornire indicazioni circa il piano indagini da condurre per la caratterizzazione geotecnica, sismica, ambientale, marina e geomorfologica dell'area oggetto di intervento, con particolare attenzione al fronte di costa ove è prevista la realizzazione di opere di contenimento dell'erosione costiera. L'elaborato fornisce indicazioni in merito alla tipologia di campionamenti geognostici e ambientali da eseguire. Quest'ultimi interessano sia campioni di suoli che campioni di acque sotterranee e dovranno essere eseguite sull'intera area, la quale sarà interessata, anche se in maniera limitata, da scavi e movimenti terra per la necessaria sistemazione plano-altimetrica.

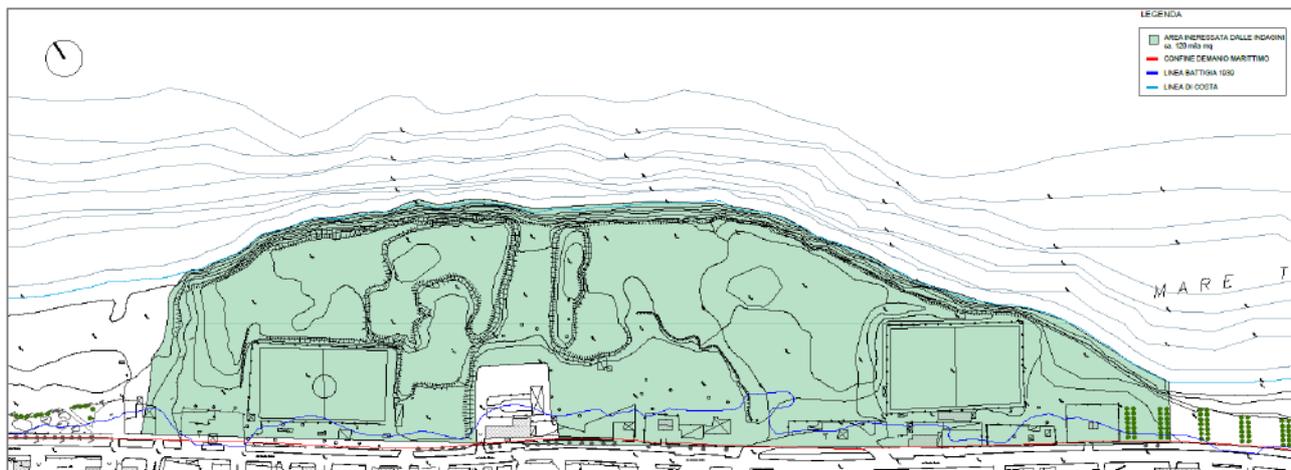


Fig. 2 – Area interessata dalle indagini

2.1 Piano preliminare di utilizzo in sito delle terre e rocce da scavo

Nel rispetto del D.P.R. 120/2017, che regola la disciplina della gestione delle terre e rocce da scavo, si riportano di seguito delle indicazioni preliminari circa l'area di intervento e le volumetrie previste di scavo delle terre e la quantità da riutilizzare in sito, mediante una nuova configurazione plano-altimetrica, finalizzata a regolarizzare i livelli di suolo e permettere una migliore fruibilità dei luoghi soprattutto in previsione della riqualificazione urbana e funzionale dell'area oggetto di intervento.

Individuare le quantità di scavo e rinterro delle terre presenti in sito risulta fondamentale per individuare le procedure di caratterizzazione ambientale prescritte dal D.P.R. 120/2017 e riportate nei capitoli successivi. Tale caratterizzazione è svolta per accertare la sussistenza dei requisiti di qualità ambientale delle terre e rocce da scavo. La densità dei punti di indagine nonché la loro ubicazione dipende dall'area di intervento oggetto di scavo, mentre la profondità di indagine è determinata in base alle profondità previste degli scavi. In funzione quindi alla nuova configurazione del suolo si prevedono scavi di differente profondità, per ognuno dei quali si prevede il prelievo di un numero di campioni che dipende proprio dalla profondità di scavo, come prescritto dall' Allegato 1, art. 8 del D.P.R. 120/2017. Gli scavi coincidono in parte con i carotaggi effettuati per il prelievo di campioni geotecnici, ed integrati, per il numero necessario, con pozzetti di ispezione. In relazione agli elaborati grafici si rimanda all'elaborato **"Lotto1_Piano Preliminare di Utilizzo"** e alle figg. 2.1.1 e 2.1.2 del presente documento.



Fig. 2.1.1 – Area interessata da scavi e rinterri



Fig. 2.1.2 – Nuova configurazione del suolo

3. PIANO INDAGINI

3.1 Indagini geologiche pregresse svolte sul sito

Allo stato attuale per l'area in oggetto sono disponibili limitate informazioni derivanti da precedenti indagini. Nello specifico sono disponibili le risultanze di n.3 sondaggi (n.1 a terra – SO145 di 25 m di profondità, e n.2 a mare – SO 378, SO 379 distanti circa 250 m dalla costa e profondi 27 m da p.c.); è presente anche un'indagine sismica eseguita con l'uso di tromografo (Stazione 165). Stratigrafie e risultati dell'indagine sismica sono riportate nell'**Allegato A_Risultati Precedenti Indagini**

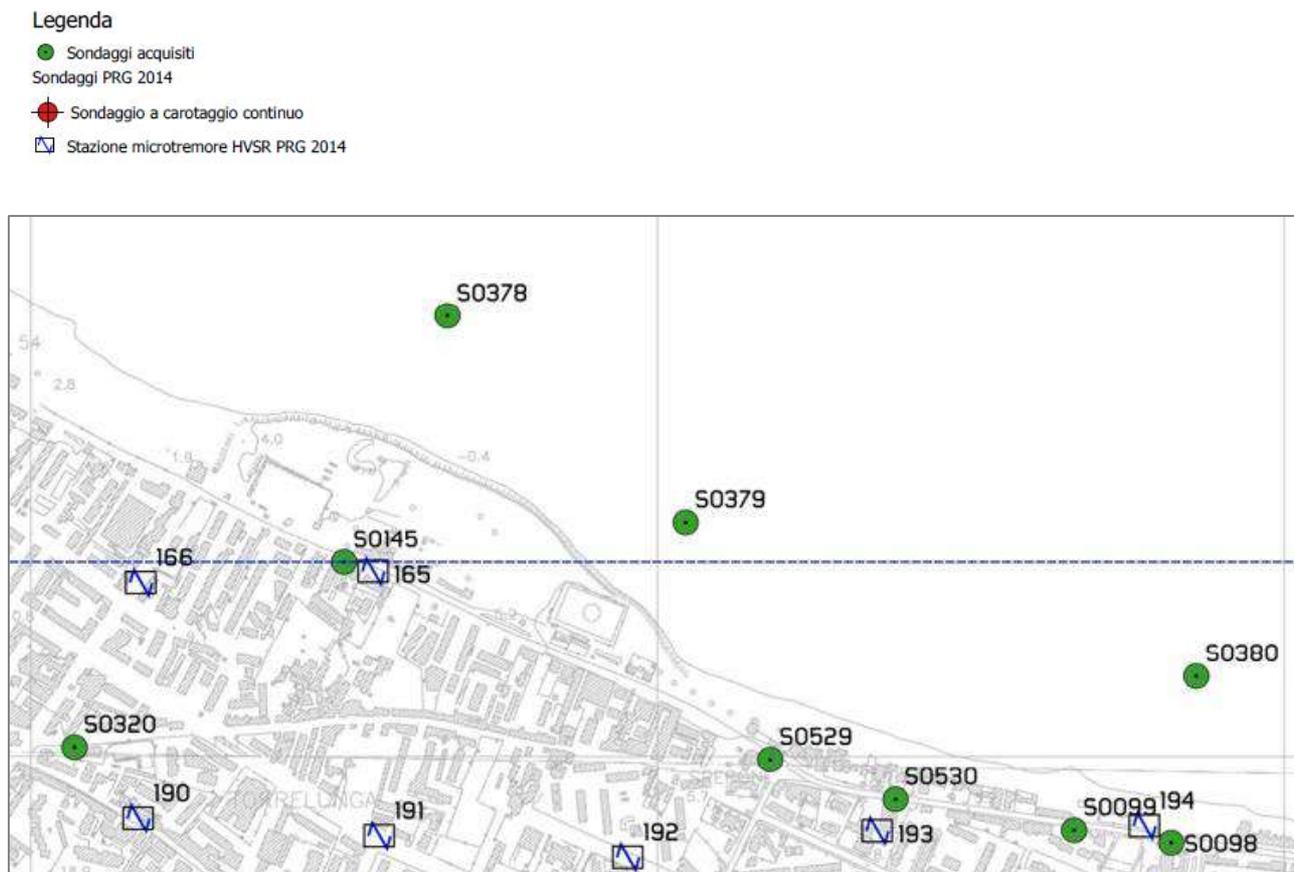


Fig. 3.1 – Ubicazione punti di campionamento geognostici e sismici esistenti

3.2 Indagini ambientali pregresse svolte sulla costa sud

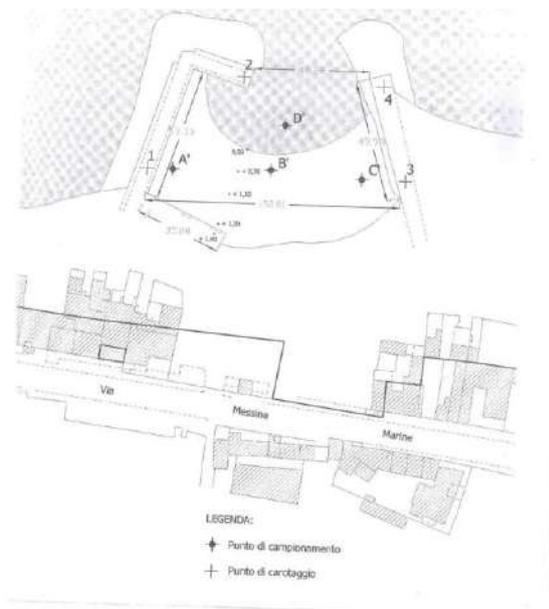
Considerata l'origine antropica dei materiali che costituiscono gran parte della costa, nel corso degli anni sono state effettuate numerose indagini ambientali, i cui risultati sono riportati nell'**Allegato A_Risultati Precedenti Indagini**.

3.2.1. Presso il porto della Bandita

Considerata l'origine dei materiali che hanno determinato l'interrimento è stato giudicato opportuno effettuare delle indagini conoscitive sulla loro natura.

A tal fine, in coordinamento con l'ARPA (Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente), è stato redatto un piano di indagini, con "Prelievo dei campioni per lo svolgimento di attività analitiche relative alla caratterizzazione dei sedimenti", affidato alla ditta *Geoservice* che ha eseguito i prelievi nel corso del 2015. Il carotaggio è stato effettuato nei punti di campionamento programmati, documentato nella planimetria

riportata a seguire, ad eccezione del punto "C". Il campionamento originariamente previsto in detto punto è stato poi effettuato in area limitrofa in un punto denominato "E".



Relativamente alle specifiche dei prelievi, sono stati previsti:

- N.3 sondaggi (in corrispondenza dei punti denominati A', B', C', a rotazione a carotaggio continuo, con carotiere di diametro minimo 12 cm, spinti ad una profondità media di 2,00 m dal livello più alto di interrimento del porto (+1,10 circa dal l.m.m.) per il prelievo di n.2 campioni indisturbati per ogni sondaggio con le modalità seguenti: - N.1 campione intermedio di 50 cm rappresentativo dello spessore superiore di sedimenti al di fuori del l.m.m. (top soil) e n.1 campione intermedio di 50 cm in corrispondenza della franchigia capillare secondo le prescrizioni date sul posto in accordo con il personale di ARPA Sicilia. I campioni prelevati dovranno essere conservati in contenitori di vetro da 1Kg.
- N.1 sondaggio (in corrispondenza del punto denominato D') all'interno dello specchio acqueo del porto della Bandita, in corrispondenza del centro del porticciolo prossimo alla batimetrica di m 2,00 circa, secondo le prescrizioni date sul

posto in accordo con il personale ARPA Sicilia con le modalità seguenti: N.1 campione di 50 cm con operatore munito di liner, con caratteristiche idonee a prelevare intero spessore e comunque non inferiore ai primi 20 cm. Il campione prelevato dovrà essere conservato in un contenitore di vetro da 1Kg. Dal punto del prelievo dovrà essere prelevato un campione di sedimento sufficiente anche per il confezionamento di un campione di sedimento in n.1 contenitore di polietilene sterile e n.2 sacchi di poliestere.

A questi sondaggi, ai fini di una corretta progettazione della profondità di dragaggio, si aggiunge l'esecuzione di 4 sondaggi (...) fino alla profondità della scogliera di base, al fine di determinare la profondità reale del massiccio di coronamento anche con l'ausilio di carotiere provvisto di corona diamantata. I campioni sono stati esaminati dall'ARPA Sicilia. Gli esiti delle indagini sono documentati nei Rapporti di Prova e sintetizzati nella nota di trasmissione al Comune, n.0030043 del 18.05.2015 – riprodotta, unitamente ai rapporti, nell'allegato alla presente relazione denominato "R1.a – Analisi dei campioni – Rapporti di prova dell'ARPA". Nella nota di trasmissione l'ARPA rende noto che sono stati esaminati i seguenti campioni:

- Campione n.1 Sondaggio B' – Campione Top-soli: profondità m- 0,30 – 1,50 (codice campione 201503047PA1358);
- Campione n.2 Sondaggio B' – Campione frangia capillare: profondità m 2,00 – 2,80 (codice campione 201503047PA1359);
- Campione n.3 Sondaggio A' – Campione Top-soli: profondità m- 0,30 – 1,50 (codice campione 201503047PA1360);
- Campione n.4 Sondaggio A' – Campione frangia capillare: profondità m 2,40 – 3,500 (codice campione 201503047PA1361);
- Campione n.5 Sondaggio D' – Campione Sedimento marino: Batimetrica m.1,90 Top-soli: profondità m- 0,30 – 1,50 (codice campione 201503047PA1362);
- Campione n.6 Sondaggio E' – Campione Top-soli: profondità m- 0,30 – 1,50 (codice campione 201503047PA1358);
- Campione n.7 Sondaggio E' – Campione frangia capillare: profondità m 1,80 – 2,50(codice campione 201503047PA1363).

Nel rapporto si dichiara, inoltre, che "Sui campioni sopra indicati, ad esclusione del campione D', sono state determinate le concentrazioni di idrocarburi $12 > C > 40$, metalli (cromo VI, Mercurio, alluminio, antimonio, arsenico, berillio, cadmio, cobalto, cromo totale, ferro, manganese, nichel, piombo, rame, selenio, stagno, tallio, vanadio, zinco) e fitofarmaci; nel campione n.5 Sondaggio D' – Campione sedimento marino, oltre i

parametri sopra indicati sono stati determinati anche i parametri microbiologici. I risultati delle analisi dei campioni non evidenziano superamenti delle Concentrazioni di Soglia di Contaminazione (CSC) previste nella colonna A della tabella 1 dell'allegato 5 alla parte IV del titolo V del D.Lgs.152/06 e ss.mm.ii. per i siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale. Sussistono solo alcune criticità da approfondire relativamente al parametro organo stannici, in relazione al limite di 1 mg/kg previsto dall'allegato 5 sopracitato per la colonna A, nell'ipotesi in cui il materiale in questione debba essere riutilizzato per ripascimenti o reimpieghi. In particolare l'analisi dello stagno nel top soil del sondaggio A' (campione 3 – profondità 0,30 – 1,50 m) dà come risultato un valore di concentrazione pari a 10,4 mg/kg, mentre il campione di fondo sempre del sondaggio A (campione 4 – profondità 2,40 m – 3,50 m) dà una concentrazione 0,91 mg/kg. Stessa criticità si osserva nel sondaggio E' top soil con una concentrazione di 21,1 mg/kg e nel campione E' fondo con una concentrazione di 9,0 mg/kg. Comunque, qualora il rifiuto dovesse essere rimosso e smaltito, la presenza di stagno nelle quantità riscontrate, anche ammettendo che si trovi tutto sotto forma di composti organo stannici, non renderebbe il rifiuto stesso, classificabile come pericoloso. Sarà tuttavia necessario, in funzione della scelta economica dello smaltimento sottoporre il rifiuto ad un apposito test di cessione per lotti omogenei." In relazione alle informazioni oggi disponibili è possibile ritenere che la presenza di organostannici è dovuta alla episodica attività di verniciatura delle imbarcazioni, che alcuni pescatori effettuano in sito. Anche la presenza di idrocarburi è riconducibile all'attività dei pescatori, in quanto potrebbe essere dovuta alla perdita di carburante. Considerata che la destinazione di Porto Peschereccio, ad ogni modo, è assimilabile a quella commerciale e non a quella residenziale e/o di verde pubblico, in realtà è più corretto fare riferimento non alla colonna A della tabella 1 dell'allegato 5 alla parte IV del titolo V del D.Lgs.152/06 e ss.mm.ii., come indicato nella nota dell'ARPA, ma alla colonna B.

In riferimento ai valori della colonna B della tabella 1 dell'allegato 5 alla parte IV del titolo V del D.Lgs.152/06 e ss.mm.ii., non sussiste alcun superamento dei valori di CSC anche per i parametri degli organo stannici – sostituiti, nell'allegato 5 richiamato, allo stagno con L.116 del 2014 – in considerazione che il valore limite è pari a 350 ed i valori dei sondaggi "A" ed "E" sopra richiamati (10,4 – 21,1 e 9,0) sono tutti notevolmente inferiori. Considerate le criticità evidenziate nel rapporto dell'ARPA e la necessità di effettuare approfondimenti, finalizzati, in particolare, ad individuare le corrette modalità di smaltimento del materiale, a seguito di individuazione del codice CER (Catalogo Europeo dei Rifiuti) e di definizione delle Classi di Qualità del terreno, sono state effettuate ulteriori analisi sui campioni già prelevati. Dette analisi sono state affidate alla stessa Ditta che ha eseguito i carotaggi (ai sensi dell'art.57 comma 5 del D.Lgs.163/06 e ss.mm.ii.). In particolare è stata richiesta l'analisi dei materiali di tre campioni precedentemente prelevati ed, in particolare dei seguenti campioni:

- Campione n.3 Sondaggio A' – Campione Top Soil profondità 0,30 -1,50;
- Campione n.6 Sondaggio E' – Campione Top Soil profondità 0,30 -1,50;
- Campione n.7 Sondaggio E' – Campione Frangia Capillare profondità 1,80 – 2,20;

Per la specifica delle nuove analisi da effettuare è stato fatto espresso riferimento ai parametri riportati al paragrafo 2.2.1 del "Manuale per la movimentazione di sedimenti marini – ICRAM APAT" che è stato allegato al capitolato, ed, in particolare a quelli elencati alla Tabella 2.1.a riportata a pag.22 del Manuale. E' stato richiesto, inoltre, di effettuare le "Analisi eco tossicologiche" previste al paragrafo 2.2.2 dello stesso Manuale, secondo quanto ivi previsto e, a seguito delle analisi, per mezzo di Laboratorio accreditato, l'assegnazione del codice CER al materiale e la definizione delle Classi di Qualità ai fini della definizione delle opzioni di gestione compatibili, così come nella tabella 2.2 del Manuale ICRAM. I risultati delle analisi, riportate nell'allegato alla presente Relazione denominato "R1.b -Analisi dei campioni – Codice CER e Classe di Qualità dei materiali", confermano quanto già riscontrato dall'ARPA. Il materiale di cui ai campioni esaminati è stato classificato "Non pericoloso" con codice CER "170506 – Materiali di dragaggio diverso da quello di cui alla voce 170505*". Visti i rapporti di prova del Laboratorio CEFIT, esaminati i valori analitici dei parametri riportati, viene evidenziato che:

- I valori dei metalli Cd e Hg sono compresi tra il livello chimico di base (LCB) ed il livello chimico limite (LCL);

- I valori dei composti organo stannici (come Sn) risultano superiori al Livello Chimico Limite nei campioni 1601140041 (Campione 3 – sondaggio A') e 1601110043 (Campione 6- sondaggio E'); il valore dello Stagno risulta in tutti e tre i campioni superiore alla Tab.1 Allegato 5 del D.Lgs 152/06;
- I parametri ecotossicologici posizionano la tossicità acuta del sedimento nella colonna A (tab.2.4). In base a ciò, secondo quanto previsto dalla Tab 2.6, e quanto riportato nell'elaborato fornito dalla Ditta, il sedimento può essere classificato nella classe B2 (tab.2.6).

Detto materiale, pertanto, può essere utilizzato o ricollocato secondo la seguente priorità:

1. Riutilizzi a terra in siti ad uso commerciale e industriale secondo quanto previsto dalla tabella 1 dell'Allegato 5 del D.Lgs n152/06 ($Sn > 1$),
2. Deposizione all'interno di bacini di contenimento con impermeabilizzazione laterale e di fondo;
3. Smaltimento presso discarica a terra.

3.2.2. Presso l'ex discarica di Acqua dei Corsari

Tra il 23 agosto e il 17 settembre 2004 è stata condotta una campagna di indagini nel sito consistente in:

- n° 15 sondaggi a rotazione e carotaggio continuo di profondità compresa tra 10 e 28 m;
- n° 6 piezometri a tubo aperto, installati nei sondaggi S3, S5, S8, S12, S14, S15;
- n° 6 pozzetti esplorativi della profondità di circa 4 m;
- indagine con metodo Georadar distribuita su 9 aree per un totale di 1.366 m di rilievo;
- prelievo di n° 33 campioni di terra dalle carote dei sondaggi;
- prelievo di n° 6 campioni di acqua all'interno dei piezometri;
- prelievo di n° 4 campioni di acqua di mare;
- prelievo di n° 4 campioni di sedimento del fondo marino.

Gli analiti ricercati sulle acque (campioni di acqua dai piezometri e campioni di acqua a mare), e sui terreni, sono riportati rispettivamente in Tabella 1 e Tabella 2. La planimetria con l'ubicazione dei punti di campionamento è riportata in allegato 5. Il sondaggio S15, che rappresenta l'indagine sul "fondo naturale" (bianco), è stato ubicato sulla via Messina Marine.

L'analisi dei dati relativi al campionamento delle acque ha rivelato una concentrazione di solfati superiore alla soglia prevista di 250 mg/l.

L'elevato valore di concentrazione dei solfati può essere giustificato dall'innalzamento periodico della superficie marina, che interferisce con la falda alterandone la salinità. Per cui può legittimamente ritenersi l'assenza di inquinamento da solfati.

In corrispondenza del sondaggio S3, si è rilevata una concentrazione di piombo pari a 15 µg/l, molto superiore rispetto alla media degli altri 5 campioni ($< 0,1$ p.g/1). Per quanto riguarda tutti gli altri parametri analizzati per le acque non sono stati rilevati superamenti dei valori di soglia previsti per legge, pertanto, gli esiti della caratterizzazione citata, non rilevano pregiudizio della qualità delle acque di falda. Per quanto riguarda le analisi effettuate sui terreni, si è rilevato un andamento delle concentrazioni di piombo piuttosto irregolare nella parte occidentale della discarica e più regolari e decrescenti nella parte orientale. Il valore massimo (superiore a quello di soglia) è localizzato nell'area occidentale all'interno della discarica ed è ubicato poco al di sotto della quota di 6 m s.l.m. In base alle analisi delle concentrazioni di piombo, può escludersi la presenza di processi migratori di inquinanti di entità rilevante, sia in senso areale che in senso verticale. Analoghe considerazioni sono state ricavate per il rame e lo zinco. In corrispondenza al sondaggio S5-campione Ci (profondità 4,80-6,00 m) si è ritrovata una concentrazione di piombo pari a 124,5 mg/Kg superiore al valore di soglia (100 mg/Kg). L'andamento delle concentrazioni di idrocarburi pesanti, ha mostrato valori piuttosto bassi in quasi tutta l'area della discarica, ad eccezione della zona est, nella quale due campioni superano i limiti di soglia previsti (50 mg/Kg): il campione S8-C2 (profondità 15,00-16,00 m) a quota 0,30 m s.l.m (57 mg/Kg) ed il campione S8bis-C2 a quota 1,40 m s.l.m. (66,1 mg/Kg). Tali valori sono certamente imputabili ad accumuli localizzati e circoscritti, e non determinano influenza sulle aree limitrofe, che presentano concentrazioni molto basse e per buona parte inferiori a quella del campione bianco (17,4 mg/Kg). In corrispondenza al campione C1 (profondità 7,00- 8,00 m) del sondaggio S8bis è stata rinvenuta una concentrazione di rame di 162,2 mg/Kg superiore al valore soglia (150 mg/Kg).

Un risultato insolito risulta quello relativo al campione C1 (profondità 8,00-10,00 m) del sondaggio S15, in cui si è rilevato un valore di concentrazione di Zinco di 185,4 mg/Kg superiore al valore soglia (150 mg/Kg).

Nel 2007 è stata svolta una successiva attività di caratterizzazione da parte della Società Sviluppo Italia Aree Produttive S.p.A delegata dal Commissario per l'Emergenza Rifiuti e la Tutela delle Acque in Sicilia. Gli esiti di tale caratterizzazione, validati dall'A.R.P.A., costituiscono la base informativa dello svolgimento della presente Analisi di Rischio.

Nello specifico sono stati realizzati n. 35 sondaggi (S1÷S35) più altri 8 attrezzati a piezometro (PZ01÷PZ08). Poiché lo sviluppo del sito è caratterizzato da soggiacenze della falda disuniformi, si è ritenuto utile ai fini dell'applicazione dell'AdR suddividere preliminarmente l'area in tre zone caratterizzate ciascuna da un livello di profondità della falda pressoché omogeneo. Tale operazione appare necessaria al fine di descrivere nel modo più verosimile possibile il fenomeno di lisciviazione e successiva eventuale contaminazione della falda, che è correlata direttamente alla profondità della stessa; le tre aree sono quelle indicate nell'allegato VI alla presente relazione.

Nella tabella di seguito riportata, si indicano le verticali di indagine in esse presenti e il valore di soggiacenza media riscontrato.

Area	Sondaggi	Soggiacenza media [m dal p.c.]
1	S1, S2, S3, S4, S7, S8, S11, S16, S17, S19, S24, S26, S28, S29, PZ02, PZ04, PZ05, PZ06	6
2	S9, S10, S12, S13, S14, S15, S18, S20, S21, S22, S23, S25, S27, PZ03	25
3	S5, S6, S30, S31, S32, S34, S35, S36, S37	13

Per ciascuna area si indicano parametri per i quali sono stati riscontrati valori di concentrazione eccedenti la CSC di riferimento per terreni ad uso verde/ricreativo, suddividendo la matrice insatura in suolo superficiale (da 0 a 1 m da p.c.) e suolo profondo (al di sotto di 1 m da p.c.).

Area 1		
SONDAGGIO	SS	SP
S1	Sn	Sn
S2	Sn, DDT	Sn
S3	Sn, Pb	Sn, DDT
S4	Sn, DDT, PCB	Hg, Sn, DDT
S7	Sn, DDT	Sn, Pb, Cu, DDT, HC>12
S8	Sn, DDT	Sn, Zn, DDT, As
S11	Sn, DDT, HC>12, Bnz (pirene), Bnz (ghi), Ind_pirene	Hg, Pb, Cu, Sn, Zn, Bnz (pirene), Bnz (ghi), Bnz (a,e), Ind_pirene, HC>12
S16	Sn, DDT, Clordano	Sn, Pb, Zn, DDT, Clordano, HC>12
S17	Sn, DDT, HC>12, AS	Sn, Pb, Ta, Zn, DDT, HC>12, Bnz (pirene)
S19	Pb, Sn, Bnz (antracene), Bnz (pirene), Bnz (ghi), Bnz_b_Fluor, DBnz (a,e), Ind_pirene, DDT, PCB, HC>12	As, Cu, Sn, Bnz (antracene), HC>12
S24	Sn, DDT, Pb	Sn, As, Cu, DDT, HC>12
S26	Sn, DDT, HC>12	Sn, DDT, HC>12
S28	Sn	Sn, Bnz (pirene)
S29	Sn	Sn
PZ02	Pb, Sn	Pb, Sn
PZ04	Sn, Bnz(pirene), DDT, PCB	Sn, DDT
PZ05	Sn, PCB, HC>12	Sn, HC>12
PZ06	Pb, Sn, Zn	Sn, HC>12

Area 3		
SONDAGGIO	SS	SP
S5	Sn, DDT, Bnz (pirene)	Sn, Hg, DDT, Bnz (pirene)
S30	Sn, DDT, HC>12	DDT, HC>12
S31	Sn, DDT, HC>12, Zn, Bnz (pirene), PCB	As, Hg, Pb, DDT, PCB, HC>12, Bnz (pirene)
S32	Sn, HC>12, Bnz (pirene), PCB	Sn, As
S34	Sn	Sn, Zn, DDT, HC>12
S35	Sn, Hg, Pb, DDT, Clordano	Sn, DDT, Pb
S36	Sn, DDT, HC>12, Cu	Sn, Bnz (pirene), Bnz (ghi), Indpirene, DDT, HC>12
S37	Sn, HC>12, Pb	Sn

		(ghi), DDT, HC>12, Indpirene
S21	Sn, HC>12	Sn, Pb, DDT, HC>12
S22	Pb, Sn, Zn, DDT, PCB	Sn, As, DDT, Pb, Zn, PCB, HC>12
S23	Sn, DDT	Sn, Pb, DDT, HC>12
S25	Sn, DDT, PCB	Sn, Cd, Hg, Pb, Cu, Zn, Bnz (pirene), Bnz (ghi), DDT, Clordano, PCB, HC>12
S27	Sn	Sn, Pb, DDT, HC>12
PZ03	Sn, DDT, Clordano	Sn, DDT, Clordano

3.2.3 Indagini nel tratto di costa che insiste presso la Foce dell'Oreto

Indagine del 2004 (All.1)

Le indagini sono state effettuate dalla CADA con risultati datati Agosto 2004. La finalità allora delineata era quella di definire se il sito è definibile "inquinato e/o potenzialmente inquinato" così come indicato alle lettere b) e c) art.2 del D.M. 471/99 e quindi da assoggettare a procedure di bonifica di cui alla lettera f) dello stesso articolo, oppure se trattasi di area assoggettabile alle procedure di "ripristino dei luoghi" previste al punto 3, art.14 del D.Lgs.22/97. Ciò in ragione della eventualità che i suoli su cui sono stati depositati non risultano definibili come inquinati in quanto le singole sostanze aventi potere contaminante non sono presenti concentrazioni superiori ai limiti di cui alla Tabella A Allegato 1 del DM 471/99. A tal fine è stato compiuto:

- Un sopralluogo;
- La classificazione merceologica dei rifiuti di superficie;
- Il prelievo di suolo e di rifiuti;
- Valutazioni.

Nel corso del sopralluogo è stato constatato che nel sito sono presenti: sfabbricidi, terra e rocce da scavo, materiali ingombranti ed altri rifiuti speciali provenienti da attività produttive.

E' stato constatato, inoltre, che in prossimità della battigia non sono presenti significativi acquiferi su cui eseguire indagini chimico fisiche. La Caratterizzazione merceologica è stata effettuata dei soli materiali visibili nel fronte a mare, ove si constata la presenza di:

- Rifiuti delle operazioni di costruzione e demolizione a cui è possibile poter assegnare il Codice CER 17 01 07 (miscugli o scorie di cemento, mattoni, mattonelle e ceramiche non contenenti sostanze pericolose);
- Rifiuti Ingombranti a cui è possibile poter assegnare il Codice CER 20 03 07.
- Miscugli di terre e rocce da scavo (non rientranti nella definizione di rifiuto così come previsto dalla L.443/2001.
- Caratterizzazione chimico fisica (su prelievo di campioni di superficie).

Sono stati prelevati:

Campioni di graniglia contenuta all'interno di appositi sacchi in plastica recanti al dizione "Cooriquarz";

Materiale di consistenza fibrosa;

ed, inoltre:

prelievo di sei campioni di suolo ad una profondità di 20 – 30 cm dal piano di calpestio;

Non sono stati prelevati campioni in profondità, per i quali necessitavano apposti carotaggi.

Vista la norma di riferimento allora vigente (punto 2 dell'art.17 del D.Lgs 22/97 e lettere b) e c) art.2 del D.M. 471/99), dalle analisi compiute si deduce che:

Lo strato di suolo su cui insistono i rifiuti solidi presenta concentrazioni contaminanti tali da poterlo definire come "inquinato o potenzialmente inquinato" (lettere b) e c) art.2 del DM 471/99);

A carico dello stesso suolo, dovrebbero essere attivate le procedure di "bonifica" così come definite alla lettera f) del citato art.2 del DM471/99.

Nelle considerazioni conclusive si dichiara che va definito ed attuato, un "piano della investigazione iniziale" con prelievo di campioni anche in profondità.

Indagini del 2009 (All.2)

Sono stati effettuati:

- N° 3 Sondaggi Geognostici: mediante perforazione a Carotaggio Continuo, per un Totale complessivo di 40,00 metri di perforazione;
- Prelievo di N° 9: campioni rimaneggiati su cui eseguire le prove geotecniche di laboratorio;
- Prelievo di N° 4: Campioni di terre per le analisi chimiche, prelevati a diverse quote e messi in appositi contenitori ermetici;
- Prelievo di N° 2: Campioni di acque sotterranee, prelevati in corrispondenza di 2 sondaggi attrezzati come piezometri;
- Fornitura ed Installazione di m 25 di Piezometro a Tubo Aperto;
- Fornitura ed Installazione di N° 2 Pozzetti di Protezione;
- Effettuate N° 2 prove di permeabilità secondo il metodo Lefranc;
- Esecuzione di N° 6 Prove S.P.T. in foro;
- Scavo di trincee per un totale di 880 m 3 ;
- Esecuzione di analisi chimiche su n° 2 campioni di acque, n° 4 campioni di terre e n° 5 campioni di rifiuto.

I risultati delle indagini (All.2), che restituiscono la stratigrafia e le caratteristiche geotecniche del suolo, sono riportate in calce al presente documento.

3.3 Caratterizzazione stratigrafica, idrogeologica, geotecnica e sismica

Per approfondire la conoscenza dell'area oggetto di intervento si dovrà prevedere quindi l'esecuzione di indagini geognostiche e geofisiche, finalizzate alla conoscenza delle caratteristiche stratigrafiche, idrogeologiche, geotecniche e alla caratterizzazione sismica del suolo del sito, come dettagliato nel seguito.

Per la campagna di indagine si prevede:

- 1) **Carotaggi** - Sondaggi meccanici a rotazione con carotaggio continuo, nei punti indicati nella **fig. 3.3** e individuabili nell'elaborato grafico "**Lotto1_Punti di Campionamento**", utilizzando ove necessario carotiere semplice o doppio o metodologia equivalente, atti alla ricostruzione dettagliata del profilo stratigrafico mediante l'esame delle carote prelevate. Dovrà inoltre tenersi in debito conto dell'approntamento delle attrezzature e del loro spostamento e della idonea conservazione del materiale in cassette catalogatrici. Ciascun sondaggio deve essere ubicato topograficamente riferendo la quota del boccaforo e la sua posizione a un sistema di caposaldi fissi. Vanno previste opere provvisorie per l'accesso ai luoghi (sistemazioni del terreno e predisposizione piste di accesso).
- 2) **Prelievo di campioni** - Si prevede il prelievo di 3 campioni indisturbati e 2 rimaneggiati per ogni foro a diverse profondità. In particolare, le profondità di prelievo, misurate a partire dal piano campagna o fondo marino, saranno:
 - a. 1m;
 - b. 2m (5 metri per i sondaggi Sp05, Sp06)
 - c. nella sezione di carota compresa nel passaggio tra il terreno di riporto e la formazione di base.

Per il prelievo di campioni indisturbati dovranno essere utilizzate metodologie e utensili adeguati alla natura dei terreni e in ogni caso da sperimentare direttamente in situ. Le carote prelevate con i sondaggi dovranno essere conservate in apposite cassette catalogatrici sulle quali saranno indicate la denominazione del sondaggio, le profondità di prelievo delle carote e dei campioni indisturbati, la fine battuta, "FB", la presenza di vuoti e di cavità attraversati, etc..

Le cassette dovranno essere accuratamente conservate al coperto, su sito da individuarsi a carico dell'A.C. Tutti i campioni vanno fotografati. I campioni a contenuto d'acqua vanno conservati in doppio sacchetto di plastica.

- 3) **Prove in situ** - lungo le verticali di sondaggio va prevista l'esecuzione di prove penetrometriche (SPT) nei terreni sabbiosi, nella misura di almeno 3 prove ogni sondaggio. Una prova SPT sarà svolta ad una profondità compresa -1m da p.c. e il passaggio tra il terreno di riporto e la formazione di base; le restanti due prove saranno effettuate ad una profondità compresa tra la suddetta quota del terreno di riporto e la formazione di base ed il fondo foro.
- 4) **Rilevazione livelli di falda** - Relativamente a n.4 sondaggi vanno allestiti piezometri a tubo aperto ed effettuata l'osservazione della eventuale falda con lettura piezometrica. Si prevede inoltre il prelievo di n.1 campione d'acqua per ciascun foro, da utilizzare per le analisi ambientali.
- 5) **Caratterizzazione sismica** – Per la caratterizzazione sismica dell'area sono previste prove di tipo Masw (n.4) e profili sismici a rifrazione (n.2) con stendimenti di 100 m l'uno. Si prevede inoltre l'esecuzione di sondaggi sismici in foro tipo Down Hole (DH) all'interno di alcuni dei fori di sondaggio preventivamente realizzati.

Le indagini, l'installazione della strumentazione e le misure dovranno essere eseguite da impresa e personale specializzato con l'assistenza e la supervisione di un geologo e di un geotecnico.

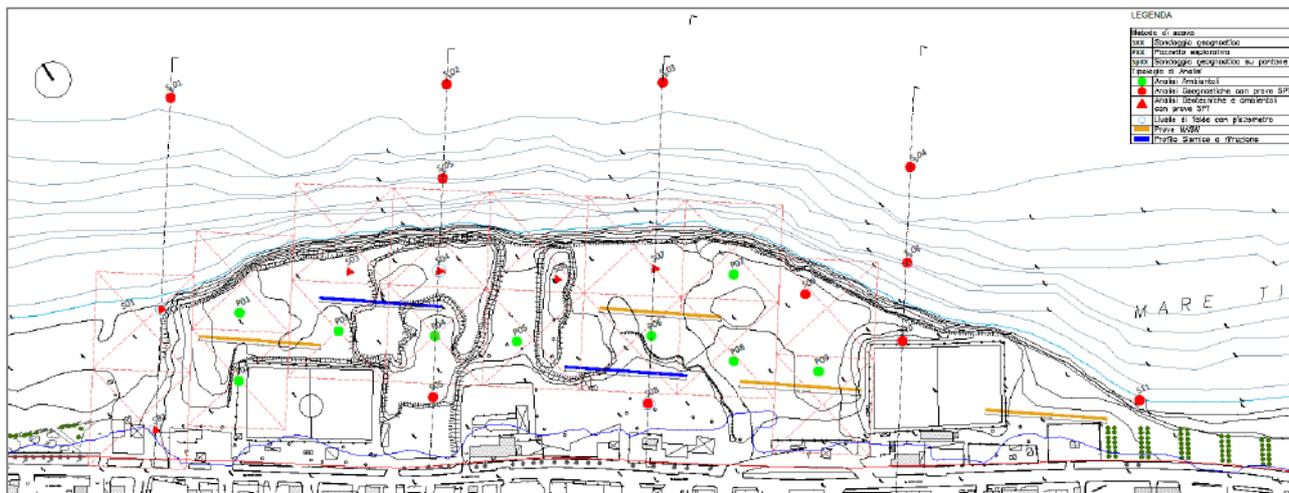


Fig. 3.3 – Ubicazione dei nuovi punti di campionamento geognostici e ambientali

Per le caratteristiche delle indagini geognostiche e ambientali si riportano nella tabella seguente le lunghezze dei fori di sondaggio, i campioni da prelevare e le prove da eseguire (Tab. 3.3.1 e Tab. 3.3.2)

Tab. 3.3.1 – Lunghezze e punti di campionamento sondaggi geognostici

Punto d'indagine	Profondità da p.c. o fondale marino	Sondaggi Geognostici			Sondaggi Ambientali		Prove in foro (N° prove)	Prelievo campione acqua	Prove DH
		N° campioni laboratorio	Profondità prelievo campioni	N° campioni laboratorio	Profondità prelievo campioni				
Sp01	20m	3 indisturbati	2 rimaneggiati	*	—	—	SPT (3)**	—	—
Sp02	20m	3 indisturbati	2 rimaneggiati	*	—	—	SPT (3)**	—	—
Sp03	20m	3 indisturbati	2 rimaneggiati	*	—	—	SPT (3)**	—	—
Sp04	20m	3 indisturbati	2 rimaneggiati	*	—	—	SPT (3)**	—	—
Sp05	20m	3 indisturbati	2 rimaneggiati	*	—	—	SPT (3)**	—	—
Sp06	20m	3 indisturbati	2 rimaneggiati	*	—	—	SPT (3)**	—	—
S01	20m	3 indisturbati	2 rimaneggiati	*	3	***	SPT (3)**	—	—
S02	20m	3 indisturbati	2 rimaneggiati	*	3	***	SPT (3)**	1 per foro	—
S03	30m	3 indisturbati	2 rimaneggiati	+	3	***	SPT (3)**	—	—
S04	30m	3 indisturbati	2 rimaneggiati	*	3	***	SPT (3)**	1 per foro	DH
S05	20m	3 indisturbati	2 rimaneggiati	*	—	—	SPT (3)**	—	—
S06	30m	3 indisturbati	2 rimaneggiati	*	3	***	SPT (3)**	—	—
S07	30m	3 indisturbati	2 rimaneggiati	+	3	***	SPT (3)**	—	—
S08	20m	3 indisturbati	2 rimaneggiati	*	—	—	SPT (3)**	1 per foro	—
S09	30m	3 indisturbati	2 rimaneggiati	*	—	—	SPT (3)**	—	DH
S10	20m	3 indisturbati	2 rimaneggiati	*	—	—	SPT (3)**	1 per foro	—
S11	20m	3 indisturbati	2 rimaneggiati	*	—	—	SPT (3)**	—	—
P01	4m	—	—	—	3	0,50–2,50–4 m	—	—	—
P02	3m	—	—	—	3	0,50–1,50–3 m	—	—	—
P03	3m	—	—	—	3	0,50–1,50–3 m	—	—	—
P04	3m	—	—	—	3	0,50–1,50–3 m	—	—	—
P05	1m	—	—	—	1	0,50 m	—	—	—
P06	2m	—	—	—	2	1,00–2,00 m	—	—	—
P07	4m	—	—	—	3	0,50–2,50–4 m	—	—	—
P08	1m	—	—	—	1	0,50 m	—	—	—
P09	1m	—	—	—	1	0,50 m	—	—	—

<p>* I prelievi geotecnici vanno effettuati alla profondità dal p.c. di :</p> <ul style="list-style-type: none"> -1 mt; -2 mt (-5 mt nel caso dei sondaggi Sp05-Sp06); - Al passaggio tra il terreno di riporto e la formazione di base. <p>** Le prove SPT sono 3 e vanno effettuate a profondità:</p> <ul style="list-style-type: none"> n.1 tra quota -1 e il passaggio tra il terreno di riporto e la formazione di base; n.2 tra il passaggio tra il terreno di riporto e la formazione di base ed il fondo foro <p>*** Si prevede il prelievo dei campioni ambientali alle profondità di seguito indicate:</p> <ul style="list-style-type: none"> - da 0 a -1 metro dal piano campagna; - alla profondità che comprenda la zona di frangia capillare; - nella zona intermedia tra i due campioni precedenti.
--

Tab. 3.3.2 – Profondità campioni geotecnici e prove SPT

Analisi di laboratorio e prove di caratterizzazione fisica e meccanica

Per quanto riguarda le prove di laboratorio utili a determinare il comportamento fisico-meccanico dei materiali dovranno determinarsi almeno:

- il contenuto naturale d'acqua;
- il peso dell'unità di volume;
- analisi granulometrica in parte mediante stacciatura a secco, in parte mediante stacciatura per via umida ed in parte stacciatura e sedimentazione con aerometro;
- i limiti di liquidità (ove possibile);
- la resistenza drenata, mediante prove di taglio diretto con scatola di Casagrande;
- resistenza a compressione semplice, mediante prova di rottura per compressione semplice per i campioni che ne consentono l'esecuzione.

Le indagini dovranno essere estese a tutti i campioni indisturbati prelevati.

Nella tabella seguente si riportano le prove di laboratorio preventivate

Prova	Numero prove
Caratterizzazione: contenuto naturale d'acqua, peso unità di volume, prove granulometriche	51
prove di taglio diretto	153
prova di rottura per compressione semplice (almeno 5% rimaneggiati)	18

Tab. 3.3.3 – Tipologie prove di laboratorio sondaggi geognostici

3.4 Analisi ambientali su suolo e acqua

Trattandosi di un sito costituito fundamentalmente da materiale di riporto, come specificato in premessa, è necessario procedere alla sua caratterizzazione dal punto di vista ambientale, prevedendo indagini sui suoli e su alcuni campioni di acqua prelevati dai piezometri installati.

Le analisi ambientali sui suoli sono condotte ai sensi del DPR n.120 del 13/07/2017 "Regolamento recante la disciplina semplificata della gestione delle terre e rocce da scavo" e il campionamento dovrà essere condotto secondo le specifiche dell'allegato 2 del D.P.R. 120 e nel rispetto del D.lgs. 152/06.

L'ubicazione dei punti di indagine è riportata nella Fig. 3.3 e nell'elaborato grafico "**Lotto1_Punti di Campionamento**". Al fine di ottenere informazioni sull'intera area di intervento, si prevede il campionamento effettuato in corrispondenza dei punti già individuati per i sondaggi geognostici, ai quali vengono integrati ulteriori punti di prelievo individuati sulla base di un campionamento sistematico casuale all'interno di una griglia predefinita. Eventuali spostamenti dei punti di campionamento rispetto alle posizioni individuate nell'elaborato grafico potranno essere effettuati in base alle esigenze specifiche.

Stimata un'area di scavo di circa 50 mila mq, si prevedono **un numero di punti di indagine pari a n.15**, rispettando i criteri minimi definiti all'allegato 2 del DPR 120/2017 e del D.Lgs. 152/06.

Al fine di consentire la valutazione delle caratteristiche ambientali dei materiali di scavo nei punti già individuati per i sondaggi geognostici si dovrà prevedere un avanzamento a secco per le profondità necessarie e la messa in atto di tutte le cautele indispensabili per consentire il prelievo di campioni utili per analisi ambientali. Nei punti di prelievo integrativi (da P01 a P09) si prevede l'esecuzione di pozzetti esplorativi, con sezione di scavo orientativa di m 2,00 x 2,50 e profondità da 1 m, nei punti in cui non si prevedono scavi significativi, fino a 4 m, ove si prevedono spostamenti di rocce e terra di maggiore entità.

Per ogni punto di indagine con profondità di scavo superiore a 3 mt si procederà con il prelievo di 3 campioni: uno tra 0 e 1 m dal piano campagna, uno sulla zona del fondo scavo, uno nella zona intermedia tra i due, seguendo le direttive dell'allegato 2 del DPR 120/2017. Nei punti di campionamento S01-S02-S03-S04-S06-S07 si prevede il prelievo dei campioni alle profondità di seguito indicate:

- da 0 a -1 metro dal piano campagna;
- alla profondità che comprenda la zona di frangia capillare;
- nella zona intermedia tra i due campioni precedenti.

Considerato che nel sito indagato presumibilmente non vi è presenza di falde acquifere, la franchigia capillare corrisponde alla quota al di sopra del livello del mare. I campioni andranno prelevati con ausilio di attrezzatura idonea e personale qualificato, in aliquote sufficienti per effettuare tutte le analisi necessarie e, inoltre, un'aliquota da conservare per gli Enti preposti al controllo. Poiché il suolo del sito d'intervento è in gran parte costituito da inerti di origine antropica su tutti campioni prelevati vanno effettuate ANALISI FISICO – CHIMICHE set completo, secondo quanto indicato nella tabella 1 dell'Allegato 5 alla Parte IV del D.lgs. n.152/2006 e sotto riportata, condotte da Enti e/o Istituti Pubblici di comprovata esperienza, oppure da laboratori privati accreditati da organismi riconosciuti ai sensi della norma UNI CEI EN 17011/05.

Tab. 3.4.1 – Set analitico per caratterizzazione chimico-fisiche indicato dall'All.5 alla Parte IV del D.lgs. 152/2006

		A	B
		Siti ad uso Verde pubblico, privato e residenziale(mg kg ⁻¹ espressi come ss)	Siti ad uso Commerciale e Industriale(mg kg ⁻¹ espressi come ss)
	Composti inorganici		
1	Antimonio	10	30
2	Arsenico	20	50
3	Berillio	2	10
4	Cadmio	2	15
5	Cobalto	20	250
6	Cromo totale	150	800
7	Cromo VI	2	15
8	Mercurio	1	5
9	Nichel	120	500
10	Piombo	100	1000
11	Rame	120	600
12	Selenio	3	15
13	Stagno	1	350
14	Tallio	1	10
15	Vanadio	90	250
16	Zinco	150	1500
17	Cianuri (liberi)	1	100
18	Fluoruri	100	2000
	Aromatici		
19	Benzene	0.1	2
20	Etilbenzene	0.5	50
21	Stirene	0.5	50
22	Toluene	0.5	50
23	Xilene	0.5	50
24	Sommatoria organici aromatici (da 20 a 23)	1	100
	Aromatici policiclici(1)		
25	Benzo(a)antracene	0.5	10
26	Benzo(a)pirene	0.1	10
27	Benzo(b)fluorantene	0.5	10
28	Benzo(k,)fluorantene	0.5	10

29	Benzo(g, h, i,)terilene	0.1	10
30	Crisene	5	50
31	Dibenzo(a,e)pirene	0.1	10
32	Dibenzo(a,l)pirene	0.1	10
33	Dibenzo(a,i)pirene	0.1	10
34	Dibenzo(a,h)pirene.	0.1	10
35	Dibenzo(a,h)antracene	0.1	10
36	Indenopirene	0.1	5
37	Pirene	5	50
38	Sommatoria policidici aromatici (da 25 a 34)	10	100
	Alifatici clorurati cancerogeni (1)		
39	Clorometano	0.1	5
40	Diclorometano	0.1	5
41	Triclorometano	0.1	5
42	Cloruro di Vinile	0.01	0.1
43	1,2-Dicloroetano	0.2	5
44	1,1 Dicloroetilene	0.1	1
45	Tricloroetilene	1	10
46	Tetracloroetilene (PCE)	0.5	20
	Alifatici clorurati non cancerogeni (1)		
47	1,1-Dicloroetano	0.5	30
48	1,2-Dicloroetilene	0.3	15
49	1,1,1-Tricloroetano	0.5	50
50	1,2-Dicloropropano	0.3	5
51	1,1,2-Tricloroetano	0.5	15
52	1,2,3-Tricloropropano	1	10
53	1,1,2,2-Tetracloroetano	0.5	10
	Alifatici alogenati Cancerogeni (1)		
54	Tribromometano(bromoformio)	0.5	10
55	1,2-Dibromoetano	0.01	0.1
56	Dibromoclorometano	0.5	10
57	Bromodidlorometano	0.5	10
	Nitrobenzeni		
58	Nitrobenzene	0.5	30
59	1,2-Dinitrobenzene	0.1	25
60	1,3-Dinitrobenzene	0.1	25
61	Cloronitrobenzeni	0.1	10
	Clorobenzeni (1)		
62	Monodorobenzene	0.5	50
63	Diclorobenzeni non cancerogeni (1,2-diclorobenzene)	1	50
64	Diclorobenzeni cancerogeni (1,4 - diclorobenzene)	0.1	10
65	1,2,4 -triclorobenzene	1	50
66	1,2,4,5-tetracloro-benzene	1	25
67	Pentaclorobenzene	0.1	50
68	Esaclorobenzene	0.05	5
	Fenoli non clorurati (1)		
70	Metilfenolo(o-, m-, p-)	0.1	25
71	Fenolo	1	60
	Fenoli clorurati (1)		
72	2-clorofenolo	0.5	25
73	2,4-diclorofenolo	0.5	50
74	2,4,6 - triclorofenolo	0.01	5
75	Pentaclorofenolo	0.01	5
	Ammine Aromatiche (1)		
76	Anilina	0.05	5
77	o-Anisidina	0.1	10
78	m,p-Anisidina	0.1	10
79	Difenilamina	0.1	10
80	p-Toluidina	0.1	5
81	Sommatoria Ammine Aromatiche (da 73 a 77)	0.5	25
	Fitofarmaci		
82	Alador	0.01	1
83	Aldrin	0.01	0.1
84	Atrazina	0.01	1
85	α-esacloroesano	0.01	0.1

86	β -esacloroesano	0.01	0.5
87	γ -esacloroesano (Lindano)	0.01	0.5
88	Clordano	0.01	0.1
89	DDD, DDT, DDE	0.01	0.1
90	Dieldrin	0.01	0.1
91	Endrin	0.01	2
	Diossine e furani		
92	Sommatoria PCDD, PCDF (conversione T.E.)	1×10^{-5}	1×10^{-4}
93	PCB	0.06	5
	Idrocarburi		
94	Idrocarburi Leggeri C inferiore o uguale a 12	10	250
95	Idrocarburi pesanti C superiore a 12	50	750
	Altre sostanze		
96	Amianto	1000 (*)	1000 (*)
97	Esteri dell'acido ftalico (ognuno)	10	60

Si prevede di effettuare anche l'analisi sulle acque prelevate dai piezometri installati all'interno di alcuni fori. Verrà prelevato un campione di acqua per ogni piezometro. I parametri da analizzare, in aggiunta a quelli di base (**pH, Potenziale Redox, Temperatura e Conducibilità**) sono indicati nella tabella 2 dell'Allegato 5 della Parte IV del D.lgs. 152/2006.

Tab. 3.4.2– Set analitico per caratterizzazione chimico-fisiche campioni d'acqua indicato dall'All.5 alla Parte IV del D.lgs 152/2006

N° ord	SOSTANZE	Valore limite (μ l)
METALLI		
1	Alluminio	200
2	Antimonio	5
3	Argento	10
4	Arsenico	10
5	Berillio	4
6	Cadmio	5
7	Cobalto	50
8	Cromo totale	50
9	Cromo (VI)	5
10	Ferro	200
11	Mercurio	1
12	Nichel	20
13	Piombo	10
14	Rame	1000
15	Selenio	10
16	Manganese	50
17	Tallio	2
18	Zinco	3000
INQUINANTI INORGANICI		
19	Boro	1000
20	Cianuri liberi	50
21	Fluoruri	1500
22	Nitriti	500
23	Solfati (mg/L)	250
COMPOSTI ORGANICI AROMATICI		
24	Benzene	1
25	Etilbenzene	50
26	Stirene	25
27	Toluene	15
28	para-Xilene	10
POLICLICI AROMATICI		
29	Benzo(a) antracene	0.1
30	Benzo (a) pirene	0.01
31	Benzo (b) fluorantene	0.1

32	Benzo (k,) fluorantene	0.05
33	Benzo (g, h, i) perilene	0.01
34	Crisene	5
35	Dibenzo (a, h) antracene	0.01
36	Indeno (1,2,3 - c, d) pirene	0.1
37	Pirene	50
38	Sommatoria (31, 32, 33, 36)	0.1
ALIFATICI CLORURATI CANCEROGENI		
39	Clorometano	1.5
40	Triclorometano	0.15
41	Cloruro di Vinile	0.5
42	1,2-Dicloroetano	3
43	1,1 Dicloroetilene	0.05
44	Tricloroetilene	1.5
45	Tetracloroetilene	1.1
46	Esadlorobutadiene	0.15
47	Sommatoria organoalogenati	10
ALIFATICI CLORURATI NON CANCEROGENI		
48	1,1 - Dicloroetano	810
49	1,2-Dicloroetilene	60
50	1,2-Dicloropropano	0.15
51	1,1,2 - Tricloroetano	0.2
52	1,2,3 - Tricloropropano	0.001
53	1,1,2,2, - Tetracloroetano	0.05
ALIFATICI ALOGENATI CANCEROGENI		
54	Tribromometano	0.3
55	1,2-Dibromoetano	0.001
56	Dibromoclorometano	0.13
57	Bromodiclorometano	0.17
NITROBENZENI		
58	Nitrobenzene	3.5
59	1,2 - Dinitrobenzene	15
60	1,3 - Dinitrobenzene	3.7
61	Cloronitrobenzeni (ognuno)	0.5
CLOROBENZENI		
62	Monoclorobenzene	40
63	1,2 Diclorobenzene	270
64	1,4 Diclorobenzene	0.5
65	1,2,4 Triclorobenzene	190
66	1,2,4,5 Tetraclorobenzene	1.8
67	Pentaclorobenzene	5
68	Esadlorobenzene	0.01
FENOLI E CLOROFENOLI		
69	2-clorofenolo	180
70	2,4 Diclorofenolo	110
71	2,4,6 Triclorofenolo	5
72	Pentaclorofenolo	0.5
AMMINE AROMATICHE		
73	Anilina	10
74	Difenilamina	910
75	p-toluidina	0.35
FITOFARMACI		
76	Alaclor	0.1
77	Aldrin	0.03
78	Atrazina	0.3
79	alfa - esacloroesano	0.1
80	beta - esacloroesano	0.1
81	Gamma - esacloroesano (lindano)	0.1
82	Clordano	0.1
83	DDD, DDT, DDE	0.1
84	Dieldrin	0.03
85	Endrin	0.1
86	Sommatoria fitofarmaci	0.5

DIOSSINE E FURANI		
87	Sommatoria PCDD, PCDF (conversione TEF)	4×10^{-6}
ALTRE SOSTANZE		
88	PCB	0.01
89	Acrilammide	0.1
90	Idrocarburi totali (espressi come n-esano)	350
91	Acido para - ftalico	37000
92	Amianto (fibre A > 10 mm) (*)	da definire

3.5 Analisi ambientali su comparto marino

La valutazione della qualità dell'ambiente biotico e abiotico del comparto marino è fondamentale sia ai fini della completezza del quadro conoscitivo dello stato ecologico della fascia costiera che del quadro delle vocazioni e potenzialità socio-economiche presenti e future (capitale naturale e servizi ecosistemici) dell'intera area, anche a conferma di importanti azioni di risanamento (riforestazione della prateria di *Posidonia oceanica* e ripopolamento dei fondali attraverso la collocazione di barriere soffolte) già previste in coerenza con il progetto da realizzare. Congiuntamente alla caratterizzazione dei siti e dei suoli interessati si rende quindi necessaria la caratterizzazione dello stato ambientale anche delle matrici acqua e sedimenti e delle comunità bentoniche (ai sensi della parte terza del D.Lgs. 152/2006 e il D.M. 173/2016). Le comunità bentoniche, sia quelle vegetali che quelle animali sessili (fisse al substrato), essendo strettamente legate alle condizioni fisico-chimiche dell'ambiente ne riflettono le variazioni e vengono pertanto considerate dei buoni descrittori delle variazioni ambientali, sia naturali che di natura antropica. I sedimenti sono anch'essi in grado di fornire importanti indicazioni sul trasporto e accumulo della materia organica e dei contaminanti. Tra le comunità bentoniche, inoltre, alcune giocano un ruolo di **indicatori chiave** per valutare lo stato di salute dell'ambiente marino costiero, prima tra queste la prateria di *Posidonia oceanica*, la cui presenza ed eventuale stato verranno verificati nel corso delle indagini.

Per le indagini ambientali riguardanti le matrici acque, sedimenti e biota marini, si adotterà il medesimo criterio di campionamento. In particolare, si sono definiti **2 transetti**, perpendicolari alla linea di costa, in corrispondenza dei quali si sono individuati **3 stazioni per il campionamento**, in ognuna di queste stazioni verranno **effettuate 3 repliche, per un totale di 18 campioni per ogni matrice da indagare**, come indicato in Fig. 3.5.1 e riportato nell'elaborato **Lotto1_Stazioni Indagini marine**.

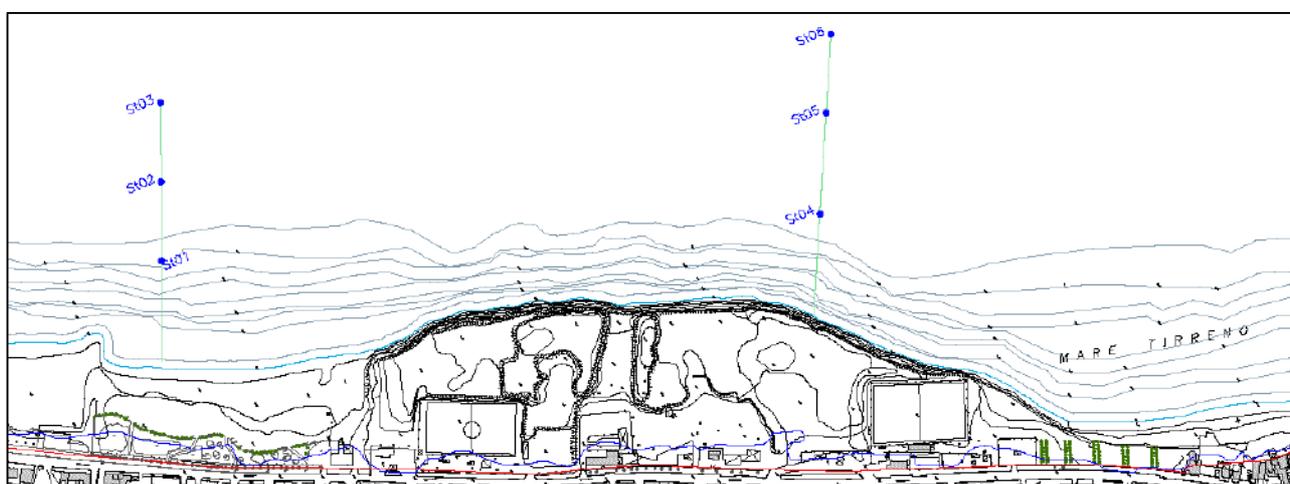


Fig. 3.5.1 – Planimetria transetti

Tab. 3.5.1 – Stazioni per il campionamento marino

Punto d'indagine	Coordinate Gauss–Boaga indicative		N° campioni per analisi ambientali in laboratorio		
	X	Y	Acque	Sedimenti	Biota
St01	2379169.04	4218749.06	3	3	3
St02	2379206.02	4218832.8	3	3	3
St03	2379243.36	4218916.55	3	3	3
St04	2379880.63	4218487.86	3	3	3
St05	2379935.2	4218591.58	3	3	3
St06	2379977.79	4218672.48	3	3	3

N.B. I punti d'indagine St01 ed St04 vanno ubicati almeno alla profondità di -4 mt s.l.m.;
I punti d'indagini più lontani vanno ubicati a 300 mt dalla linea di costa;
I restanti sondaggi vanno posizionati a metà tra i due.

LEGENDA

— Transetto
StXX ● Stazioni per analisi della matrice acqua, sedimenti e biota

Modalità di campionamento delle acque marine

La caratterizzazione della matrice acqua verrà effettuata sia con analisi in loco, che saranno esplicitate da **uno o più operatori qualificati** con l'ausilio di opportuna strumentazione, sia con analisi condotte in laboratori accreditati da organismi riconosciuti ai sensi della norma UNI CEI EN 17011/05 .

Il campionamento andrà effettuato, tramite l'utilizzo di opportuna strumentazione su un numero totale di 6 stazioni (da St01 a St06) in corrispondenza di tre diversi livelli di profondità (livello superficiale, intermedio e profondo) della colonna d'acqua. I campioni raccolti, tramite l'ausilio di sonda CTD o bottiglie Niskin (Fig.3.5.2), andranno conservati in appositi contenitori etichettati con la data, il nome della stazione, la lettera della replica.

Per la determinazione dei **profili verticali** riportanti i parametri di base e macro-descrittori (temperatura, salinità, ossigeno disciolto, pH e conducibilità), da condurre lungo tutta la colonna d'acqua per ogni stazione, si utilizza una **sonda multiparametrica**.

I **parametri di base, chimico-trofici e microbiologici** da ricercare per la caratterizzazione delle acque sono riportati nella seguente tabella.

Tab. 3.5.2 – Parametri da ricercare per la caratterizzazione delle acque

Parametri di base (lungo tutta la colonna d'acqua)	Temperatura (°C)
	pH
	Trasparenza (m)
	OD (mg/L, %)
	Salinità (psu)
	Conducibilità

Parametri chimico-trofici	Ortofosfato ($\mu\text{g/L}$)
	Fosforo totale
	Clorofilla "a" ($\mu\text{g/L}$)
	Azoto totale
	Azoto Nitroso ($\mu\text{g/L}$)
	Azoto Ammoniacale ($\mu\text{g/L}$)
Parametri microbiologici	Enterococchi
	Fitoplancton qualità e quantità
	Coliformi totali
	Coliformi fecali
	Salmonella



Fig. 3.5.2 – Esempi di bottiglia di Ninsk (a sinistra) e sonda CTD (a destra).

Indagini sui sedimenti marini

Per il campionamento dei sedimenti marini si utilizzerà una benna (di tipo Van Veen o simili) di dimensioni tali da garantire il campionamento su una superficie di $0,10 \text{ m}^2$. Il contenuto di ogni campione raccolto, verrà opportunamente setacciato su un setaccio con maglia di 1 mm e il materiale trattenuto sarà raccolto e conservato in appositi contenitori etichettati con la data, il nome della stazione, la lettera della replica.

I **parametri da ricercare per le analisi fisiche, chimiche e microbiologiche** sono riportati nella seguente tabella 3.5.3.

Tab. 3.5.3 – Parametri da ricercare per la caratterizzazione e classificazione dei sedimenti

	PARAMETRO	SPECIFICHE
ANALISI FISICHE	Descrizione macroscopica	Colore, odore, presenza di concrezioni, residui di origine naturale o antropica
	Granulometria	Frazioni granulometriche al $1/2\phi$ dove $\phi = -\log_2$ (diametro in mm/diametro unitario in mm)
	Mineralogia (2)	Principali caratteristiche mineralogiche
ANALISI CHIMICHE	Composti organostannici(1)	Sommatoria: Monobutil, Dibutil e Tributilstagno
	Metalli	Al, As, Cd, Cr totale, Pb, Hg, Ni, Cu, V, Zn
	Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA)	IPA totali: [Fluorantene, Naftalene, Antracene, Benzo(a)pirene, Benzo(b)fluorantene, Benzo(k)fluorantene, Benzo(g,h,i)perilene, Indopirene, Acenaftene, Fluorene, Fenantrene, Pirene, Benzo(a)antracene, Crisene, Dibenzo(a,h)antracene, Indeno(1,2,3,c-d)pirene]
	Idrocarburi Totali	Possibilmente distinti in C<12 e C>12
	Pesticidi Organoclorurati	Aldrin, Dieldrin, α -esaclorocicloesano, β -esaclorocicloesano, γ -esaclorocicloesano (Lindano), DDD, DDT, DDE (per ogni sostanza: somma degli isomeri 2,4 e 4,4), HCB, eptacloro, eptacloro epossido, ossiclordano, cis-clordano, trans-clordano, trans-naoaloro, cis-naoaloro, eldrin, mirex, metossicloro
	Policlorobifenili	Congeneri: PCB 28, PCB 52, PCB 77, PCB 81, PCB 101, PCB 118, PCB 126, PCB 128, PCB 138, PCB 153, PCB 156, PCB 169, PCB 180 e loro sommatoria
	Clorobenzeni	Esaclorobenzene
	Carbonio organico totale o sostanza organica totale	
	Azoto Totale	
Fosforo Totale		
ANALISI MICROBIOLOGICHE	Coliformi	<i>Escherichia coli</i>
	Enterococchi	Fecali
	Salmonelle	
	Clostridi	Spore di clostridi solfito-riduttori
	Stafilococchi	
	Miceti (2)	

Per completare le indagini sui sedimenti è necessario condurre, contestualmente alla caratterizzazione chimico-fisica, i test biologici di tossicità (analisi ecotossicologiche). Si dovranno scegliere tre specie-test appartenenti a gruppi tassonomici diversi. La lista di specie utilizzabili è la seguente:

ALGHE	<i>Dunaliella tertiolecta</i> <i>Pheodactylum tricornutum</i> <i>Skeletonema costatum</i>
BATTERI	<i>Vibrio fischeri</i>
ROTIFERI	<i>Brachionus plicatilis</i>
MOLLUSCHI	<i>Crassostrea gigas</i> <i>Mytilus galloprovincialis</i>
CROSTACEI	<i>Acartia clausi</i> ; <i>Acartia tonsa</i> ; <i>Artemia franciscana</i> ; <i>Ampelisca diadema</i> ; <i>Balanus amphitrite</i> ; <i>Corophium insidiosum</i> ; <i>Corophium orientale</i> ; <i>Tisbe battagliai</i> ; <i>Tigriopus fulvus</i>
ECHINODERMI	<i>Paracentrotus lividus</i> ; <i>Sphaerechinus granularis</i> .
PESCI	<i>Dicentrarchus labrax</i> ; <i>Sparus auratus</i> .

Indagini sulla matrice biota

Per lo studio della matrice biota, si adotterà una strategia di indagine multidisciplinare ampiamente accettata nella comunità scientifica e perfettamente conforme alla normativa vigente in termini di interventi di ripascimento, come descritto nei successivi paragrafi.

Identificazione e mappatura delle biocenosi

La prima fase di studio ambientale e biologico del sistema marino costiero consisterà in una approfondita indagine finalizzata all'accurata definizione della mappatura delle biocenosi.

La metodica cartografica impiegata per tale mappatura comprenderà la sovrapposizione di molteplici contributi:

- informazioni derivanti dall'analisi delle immagini da satellite;
- sonogrammi restituiti da rilievi con *side scan sonar*;

- videoregistrazioni direttamente in situ mediante telecamere filoguidate (ROV) o operatori in immersione con autorespiratori (ARA).

Per l'acquisizione dei dati necessari all'elaborazione di una mappatura dettagliata delle biocenosi presenti nei fondali dell'area di studio è necessaria l'esecuzione di un rilievo morfologico ad alta frequenza mediante un sonar a scansione laterale (SSS) che consente l'acquisizione di dati in doppia frequenza 445/900 KHz ed un range laterale di acquisizione massimo rispettivamente di 150/50 metri. Il sistema è costituito dal sonar vero e proprio trainato dall'imbarcazione (*towfish*) e da una unità di potenza collegata ad un pc per la gestione hardware e software dello strumento.



Fig. 3.5.3 Sistema SSS Klein 3900 dotato di verricello elettrico

Al fine di raggiungere agevolmente le profondità di lavoro ottimali per l'acquisizione dei dati nell'area richiesta, sarà inoltre previsto l'impiego di un verricello elettrico dotato di almeno 150 m di cavo in kevlar. I rilievi saranno eseguiti con idonea imbarcazione da almeno 4 unità di personale:

- il pilota al comando dell'imbarcazione;
- due operatori in coperta addetti alla fase di lancio e recupero del towfish e alla gestione del verricello;
- un operatore in cabina per provvedere alla gestione del software di navigazione e all'acquisizione e registrazione dei dati.

LEGENDA

■	AREA RILIEVO BATIMETRICO
■	AREA RILIEVO TOPOGRAFICO
■	AREA RILIEVO BIOGENOSI

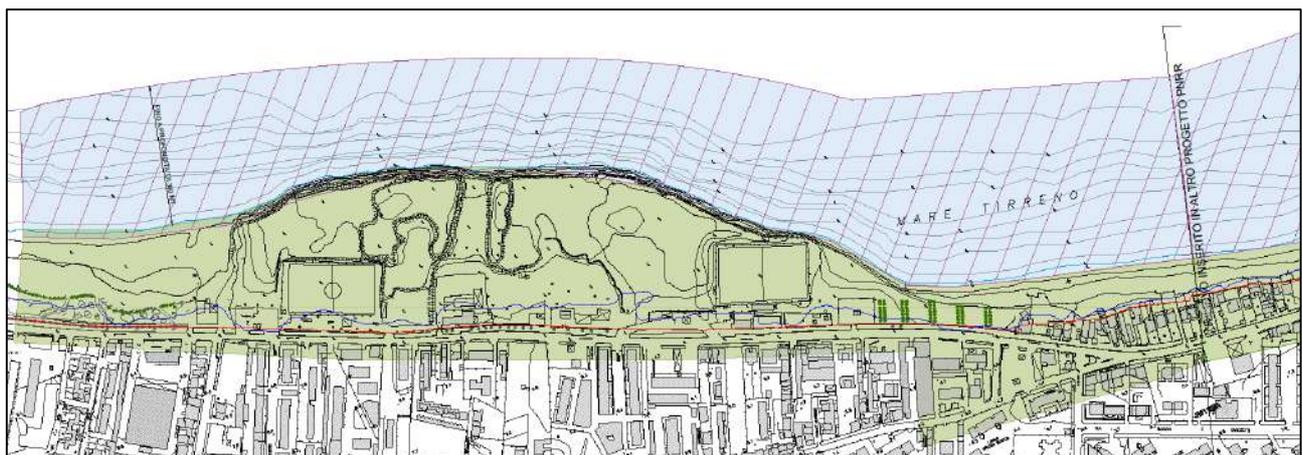


Fig. 3.5.4 – Planimetria rilievo della biocenosi

Qualsiasi eventuale procedura di ammaino e recupero sarà eseguita esclusivamente da **personale adeguatamente preparato e dotato di tutti i necessari dispositivi di sicurezza**. Il numero di transetti eseguiti sarà tale **da ottenere un overlap di acquisizione fino al 50% tra linee adiacenti**, in modo da garantire la copertura dell'intera area di interesse.

La georeferenziazione dei dati acquisiti verrà garantita in tempo reale impiegando insieme al side scan sonar uno specifico sistema di posizionamento subacqueo (USBL) per eliminare gli eventuali errori di posizione generati dall'impostazione manuale del layback.

Propedeuticamente all'inizio delle operazioni di rilievo sarà eseguito un *rubber test* a bordo e un *setting* dei valori di gain e TVG, finalizzati a rendere quanto più leggibile possibile i sonogrammi elaborati.

La registrazione dei dati della navigazione sarà effettuata con un apposito software idrografico che consenta di seguire il piano di navigazione e visualizzare le rotte in tempo reale. I sonogrammi saranno acquisiti tramite workstation equipaggiata con software dedicato, per essere successivamente processati con altro apposito software.

La prima fase di elaborazione consiste nella riproduzione e georeferenziazione dei record mediante la correzione per la rimozione della colonna d'acqua e la compensazione geometrica per la distanza inclinata.

Successivamente le registrazioni georeferenziate delle singole linee di rilievo saranno unite, con duplice finalità:

- ottenere una visione d'insieme della morfologia dell'area
- facilitare il lavoro d'interpretazione e mappatura del fondale e l'individuazione di target significativi.

La taratura dei sonogrammi con le videoriprese in punti noti dell'area di indagine consentirà di "digitalizzare" in ambiente GIS le differenti tipologie di substrato individuate.

Potranno pertanto identificarsi i substrati mobili sabbiosi, facilmente individuabili per la presenza di *ripple marks* rispetto al substrato roccioso, variamente rappresentato. Il prodotto finale sarà una carta tematica di dettaglio riportante le tipologie di substrato e le biocenosi presenti, da fornire sia su supporto sia digitale (sonogrammi in formato tiff, xtf, ecc. e fotomosaico georeferenziato) che cartaceo (carta del fotomosaico).

Campionamento delle biocenosi macrozoobentoniche di fondo mobile

Il campionamento e l'analisi delle comunità bentoniche sarà eseguito in accordo alla "Scheda metodologica per il campionamento e l'analisi del macrozoobenthos di fondi mobili" pubblicata da ISPRA.

Per il campionamento dei sedimenti si potrà utilizzare utilizzata una benna (di tipo Van Veen o simili) di dimensioni tali da garantire il campionamento su una superficie di 0,10 m². Il contenuto di ogni campione, verrà setacciato su un setaccio con maglia di 1 mm (Fig. 3.5.5) e il materiale trattenuto sarà raccolto e conservato in contenitori di PED da 2L etichettati con la data, il nome della stazione, la lettera della replica e il numero progressivo nel caso in cui ne fosse stato impiegato più di uno. I contenitori verranno riempiti prima della chiusura con una soluzione fissativa di etanolo al 70%.



Fig. 3.5.5 Recupero della benna Van Veen e setacciatura sedimenti su maglie di 1 mm

I **18 campioni** di benthos prelevati consentiranno lo studio delle comunità bentoniche di fondi mobili, che verrà condotto da personale qualificato attraverso l'identificazione delle specie appartenenti ai taxa ritenuti i migliori indicatori delle caratteristiche ambientali (Pérès e Picard, 1964). La prima fase dello studio consiste nell'apertura dei campioni e nel lavaggio accurato del sedimento residuo, in modo da eliminare l'eccesso di soluzione fissativa. Il lavaggio sarà effettuato con l'uso di appositi setacci, uno con fori di maglia di 3 mm, posizionato in alto, ed uno con fori di maglia di 1 mm posizionato sotto quest'ultimo; una volta lavato, il campione verrà osservato poco alla volta al binocolare in modo da separare gli organismi animali dalla frazione inorganica e da quella organica vegetale. Gli organismi verranno così divisi nei fondamentali gruppi tassonomici: Molluschi, Crostacei, Policheti, Echinodermi e altro (quest'ultimo comprendente Nematodi, Cnidari, Sipunculidi, Cordati ed eventuali altri gruppi ritrovati). Questa fase di smistamento, detta *sorting*, è propedeutica per le successive determinazioni tassonomiche della fauna bentonica ritrovata. Gli organismi raccolti durante il *sorting* verranno conservati in etanolo al 70% prima di procedere con l'identificazione tassonomica, che sarà svolta con l'ausilio delle chiavi dicotomiche di riferimento specifiche per i vari gruppi animali (Fauvel, 1923; Priolo, 1968; Nordsieck, 1977; Ponder, 1983; Graham, 1988; Tebble, 1976; Poppe e Yoshiro, 1991; Sabelli et al., 1992; Chevreux, 1925; Chiarelli, 1999; Clemam, 2003) ed atlanti (Giannuzzi-Savelli et al., 1997a; 1997b; 1997c) e sarà finalizzata ad assegnarne, ove possibile, la specie di appartenenza. L'elenco delle specie individuate su ogni replica e stazione e il relativo numero di individui verrà riportato in formato elettronico su una matrice impiegata per l'elaborazione statistica dei risultati e il calcolo dei principali indici ecologici che forniscono informazioni sulla struttura della comunità.

In particolare, per ogni stazione saranno determinati:

- il numero medio di individui (N);
- il numero medio di specie (S);
- l'indice di diversità (Shannon e Weaver, 1963);
- l'indice di equiripartizione (Pielou, 1966);
- l'indice di dominanza (Simpson, 1949).

Saranno inoltre calcolati anche gli indici *AMBI* e *mAMBI* (*AZTI Marine Biotic Index*), calcolati con l'utilizzo di apposito software (come ad esempio il software omonimo sviluppato da AZTITecnalia Marine Research division), utili per determinare e assegnare lo stato ecologico di un sito sulla base della struttura delle comunità bentoniche che lo popolano.

Ciò perché le comunità macrobentoniche rispondono agli stress ambientali con diverse strategie adattative, sulla base delle quali vengono distinte (Gray, 1979):

- specie con un ciclo di vita corto (r);
- specie con un ciclo vitale relativamente lungo (k);

- specie tolleranti, non soggette ad alterazioni (T).

Mettendo quindi in relazione le strategie adattive degli organismi con i livelli di perturbazione ambientale (che vanno dall'assenza di perturbazione ad una condizione azoica) gli organismi macrobentonici dei fondi molli possono essere ordinati in **cinque gruppi ecologici**, in accordo alla loro sensibilità ad un gradiente crescente di stress:

- Gruppo 1: specie molto sensibili all'arricchimento organico e presenti in condizioni non inquinate. Include carnivori specialisti e alcuni policheti tubicoli;
- Gruppo 2: specie indifferenti all'arricchimento, sempre presenti in bassa densità con variazioni non significative nel tempo. Include organismi sospensivori, carnivori meno selettivi e scavatori;
- Gruppo 3: specie tolleranti ad arricchimenti eccessivi di materia organica; queste possono essere presenti in condizioni normali, ma le loro popolazioni sono stimolate dall'arricchimento organico. Sono specie "surface deposit-feeders", come Spionidi tubicoli;
- Gruppo 4: specie opportuniste di secondo ordine, principalmente policheti di piccola taglia: "subsurface deposit-feeders", come Capitellidi e Cirratulidi;
- Gruppo 5: specie opportuniste di primo ordine. "Deposit-feeders" che proliferano in sedimenti ridotti.

L'indice *M-AMBI* è stato introdotto in sostituzione dell'indice *AMBI* in quanto quest'ultimo non considera la diversità tra le specie bentoniche, ma utilizza esclusivamente una scala per valutare la qualità ecologica. Il nuovo indice, invece, include nel calcolo anche la ricchezza di specie e la diversità. Il software con cui viene calcolato è il medesimo e consiste in un'analisi statistica multivariata in cui l'Analisi Fattoriale combina i valori di *AMBI* con quelli di diversità di Shannon-Wiener (H') e di numero di specie (S).

Il procedimento di classificazione valuta inizialmente l'indice *AMBI*, quindi si calcolano la diversità e la ricchezza specifica per ogni stazione; sulla base di queste tre variabili viene dunque assegnato un valore ecologico, variabile da *Bad* (cattivo) a *High* (elevato) (*Muxika et al., 2007*).

Valutazione presenza ed eventuale studio e analisi di laboratorio su fanerogame e in particolare su *Posidonia oceanica*

Nel caso in cui dalle indagini strumentali venga rilevata una diffusa e omogeneamente distribuita presenza di *Posidonia Oceanica*, si effettuerà una campagna di indagini in campo ed in laboratorio per la determinazione dello stato di salute della prateria.

A tal fine, saranno effettuate su almeno **3 stazioni di campionamento delle misure di densità**, parametro direttamente correlato con le condizioni vitali della prateria. Contemporaneamente a suddette misurazioni, gli operatori subacquei scientifici **preleveranno dei campioni di rizoma ortotropo completo di apparato fogliare** che, opportunamente conservati, etichettati e trasferiti in laboratorio, verranno utilizzati per la determinazione dei parametri fenologici e lepidocronologici dai quali si estrapoleranno ulteriori indici numerici utili per ottenere informazioni importanti circa lo stato di salute e di crescita della pianta.

Le informazioni così ottenute, peraltro, rappresentano un potenziale ottimo punto di controllo in sede di valutazione sia del monitoraggio ambientale durante i lavori che degli effetti futuri dell'opera, una volta completata.

Le indagini in situ e il prelievo dei campioni necessari per la valutazione dello stato di salute e per il monitoraggio di *Posidonia Oceanica*, verranno eseguiti secondo le modalità indicate dall'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA) seguendo un piano di campionamento gerarchico con almeno 3 stazioni di campionamento suddivise ognuna in tre sotto aree di circa 400 m² ciascuna.

Per ogni sotto area verranno effettuate:

- 3 repliche per le misure di densità;
- 6 repliche per i prelievi di fasci ortotropi.

Le repliche in una stessa area verranno distanziate, tra di loro, di almeno 1 metro. L'ultima replica in un'area e la prima replica dell'area seguente, saranno invece distanziate di circa 10 metri. In totale quindi, saranno effettuate 9 misure di densità e 3 misure di ricoprimento e prelevati 18 fasci ortotropi. In aggiunta, attraverso la compilazione di apposite schede di campionamento durante l'immersione, verranno ricavate informazioni

sul tipo di substrato, sulla eventuale presenza di altre fanerogame o specie algali competitive e sulle tipologie di limite di Posidonia Oceanica.

Le analisi di laboratorio (fenologia e lepidocronologia) sui campioni prelevati (fasci fogliari e rizomi), verranno effettuate utilizzando il materiale biologico campionato secondo il seguente schema operativo:

- analisi fenologiche: saranno analizzati 18 fasci per 3 stazioni per un totale di 54 fasci;
- analisi lepidocronologiche: saranno analizzati 18 rizomi per 3 stazioni per un totale di 54 rizomi;
- analisi degli epifiti: saranno effettuate sulla totalità dei lembi fogliari analizzati;
- analisi dei borers: saranno effettuate sulla totalità delle scaglie analizzate.

I fascicoli fogliari verranno aperti delicatamente con l'aiuto di una pinzetta, procedendo dalle foglie più esterne a quelle più interne, alternativamente a destra e a sinistra, e disponendo le foglie in successione di classe decrescente, ricavando così sia il numero di foglie per classe che il numero di foglie totali.

Le foglie saranno suddivise in adulte, intermedie e giovanili: le giovanili sono le più interne, per convenzione di lunghezza minore a 5 cm, le intermedie hanno lunghezza maggiore di 5 cm ma sono sprovviste di ligula, le adulte sono le foglie più esterne, fornite di una ligula che separa il lembo fogliare dalla base della foglia stessa.

Le **misure biometriche** (*lunghezza totale delle foglie, larghezza delle foglie, lunghezza delle basi delle foglie adulte*) saranno rilevate manualmente con l'ausilio di un righello (Reyes et al., 1995) e registrate su apposite schede per la raccolta dei dati.

Per ogni fascio, i lembi fogliari saranno ripuliti dagli epifiti con una lametta raschiando delicatamente le facce interna ed esterna; successivamente le scaglie, i lembi fogliari e gli epifiti raccolti verranno essiccati in stufa a 105°C per un'ora per determinare la **biomassa delle foglie singole e del fascio intero e la biomassa epifita associata** (*tutto espresso in mg di sostanza secca*).

Lo **studio lepidocronologico** dei fasci fogliari prelevati verrà effettuato con la tecnica standardizzata proposta da Pergent (1990): i rizomi vengono accuratamente puliti con acqua corrente per eliminare il sedimento presente tra le scaglie e asportare gli epifiti e gli epibionti macroscopici che lo colonizzano (Fig.3.4.5).



Fig.3.5.6 Particolare di organismi epifiti ed epibionti su foglia di Posidonia Oceanica

La dissezione delle scaglie viene eseguita a partire dal punto del rizoma più lontano dalle foglie, ossia dalle scaglie più vecchie verso quelle più recenti. Le scaglie vengono staccate una alla volta, con delicatezza, con riguardo all'ordine distico d'inserzione e appoggiandole in successione sul banco (Fig.3.4.6).



Fig.3.5.7 Analisi lepidocronologica su rizomi di Posidonia oceanica: Cicli di variazione annuale nello spessore delle scaglie.

Misurando lo spessore delle singole scaglie è possibile identificare un ciclo di variazione tra lo spessore minimo e quello massimo rilevato. Eliminate tutte le scaglie, si possono contare gli anni lepidocronologici individuati e, partendo dall'anno di studio, risalire così all'età di ogni porzione di rizoma. Attraverso il numero di scaglie comprese negli anni individuati, è possibile inoltre calcolare il numero di foglie prodotte nei rispettivi anni.

Al fine di valutare la biomassa prodotta, le porzioni datate di rizoma vengono avvolte tra fogli di alluminio e lasciate essiccare in stufa ad una temperatura di 60°C, sino al raggiungimento del peso costante.

Video ispezioni subacquee

Le videoriprese da effettuarsi con un sistema R.O.V. consentiranno di distinguere con estrema affidabilità il limite superiore della prateria di *Posidonia oceanica*, definendone contorni e distribuzione, al fine di ottenere una mappatura quanto più precisa possibile. Al contempo, sarà possibile ottenere importanti informazioni sulla presenza e composizione della fauna ittica e di altre specie sensibili non altrimenti individuabili.

Il ROV è un veicolo subacqueo dotato di telecamera, dispositivi di illuminazione, profondimetro, bussola e propulsori elettrici. Lo strumento verrà collegato, mediante un cavo ombelicale, all'unità di superficie comprendente i sistemi di alimentazione, il quadro di comando e di pilotaggio, il monitor (sul quale sono riportati in sovrapposizione i dati di navigazione) e il registratore digitale di immagini.

La propulsione e la direzionalità dell'unità subacquea saranno garantite da motori elettrici con eliche opportunamente orientate (truster). Una Video Overlay permetterà inoltre di avere in sovrapposizione sulle immagini acquisite data, ora, posizione e profondità, in modo da avere anche nel dato registrato tutte le informazioni di importanza rilevante. Tale sistema sarà impiegato in sostituzione dell'immersione diretta con operatore subacqueo sia per l'ottimizzazione dei tempi operativi che per una migliore osservazione qualitativa delle caratteristiche dei fondali, consentendo le registrazioni delle immagini di poter eseguire un'analisi dettagliata di quanto osservato anche dopo il termine delle operazioni di rilevamento subacqueo. Grazie al ROV, (vedi foto a lato) inoltre, sarà possibile investigare vaste aree con analisi non distruttive e operare a profondità non altrimenti accessibili agli operatori subacquei.

Le riprese saranno condotte esclusivamente in condizioni di torbidità minima, al fine di garantire condizioni ottimali di registrazione, con una conseguente elevata qualità dei dati in ingresso.

La survey sarà effettuata con una velocità di avanzamento tale per cui la ripresa video del fondale sarà sempre chiara, priva di "effetto scia" e con i colori correttamente bilanciati (evitando dunque la comparsa di predominanze di uno o più colori).

Il materiale video raccolto sarà fornito unitamente ad una dettagliata relazione di accompagnamento che descriva quanto rilevato, a firma di biologi marini di comprovata esperienza.

4. PIANO DI CARATTERIZZAZIONE

Dal punto di vista tecnico-amministrativo le procedure da utilizzare in caso di fenomeni di contaminazione della matrice suolo e delle acque sotterranee sono disciplinate dal D.Lgs.152/06, Titolo V Parte IV.

L'iter tecnico-amministrativo per la valutazione dei fenomeni di contaminazione di un sito "potenzialmente" inquinato ha il suo inizio con la redazione del "Piano di Caratterizzazione", da produrre in conformità all'Allegato 2 parte IV titolo V del D.Lgs. 152/06.

Il Piano di Caratterizzazione identifica l'insieme delle attività che, a partire da un quadro conoscitivo ottenuto tramite l'esito delle indagini preliminari con il presente incarico, permettono di ricostruire in maniera esaustiva i fenomeni di contaminazione a carico delle matrici ambientali, in modo da ottenere le informazioni di base a supporto delle decisioni realizzabili e sostenibili per le eventuale messa in sicurezza e/o bonifica definitiva. Secondo il D.Lgs 152/06 – Parte IV – Titolo V - Allegato 2 Criteri Generali per la caratterizzazione dei siti contaminati - per caratterizzazione si intende il processo costituito dalle seguenti fasi:

1. Ricostruzione storica delle attività produttive svolte sul sito.

2. *Elaborazione del **Modello Concettuale Preliminare** del sito e predisposizione di un piano di indagini ambientali finalizzato alla definizione dello stato ambientale del suolo, del sottosuolo e delle acque sotterranee.*
3. *Esecuzione del piano di indagini e delle eventuali indagini integrative necessarie alla luce dei primi risultati raccolti.*
4. *Elaborazione dei risultati delle indagini eseguite e dei dati storici raccolti e rappresentazione dello stato di contaminazione del suolo, del sottosuolo e delle acque sotterranee.*
5. *Elaborazione del **Modello Concettuale Definitivo**.*
6. *Identificazione dei livelli di concentrazione residua accettabili - sui quali impostare gli eventuali interventi di messa in sicurezza e/o di bonifica, che si rendessero successivamente necessari a seguito dell'analisi di rischio- calcolati mediante analisi di rischio eseguita secondo i criteri di cui in Allegato 1.*

Secondo quanto riportato nell'Allegato 2:

Il piano di indagini dovrà contenere la dettagliata descrizione delle attività che saranno svolte in campo ed in laboratorio per la caratterizzazione ambientale del sito. Il Proponente dovrà includere in tale documento le specifiche tecniche per l'esecuzione delle attività (procedure di campionamento, le misure di campo, modalità di identificazione, conservazione e trasporto dei campioni, metodiche analitiche, ecc.) che una volta approvate dalle Autorità Competenti, prima dell'inizio dei lavori, costituiranno il protocollo applicabile per la caratterizzazione del sito.

Le fonti potenziali di inquinamento sono definite sulla base del Modello Concettuale Preliminare del sito e comprendono: luoghi di accumulo e stoccaggio di rifiuti e materiali, vasche e serbatoi interrati e fuori terra, pozzi disperdenti, cumuli di rifiuti in contenitori o dispersi, tubazioni e fognature, ecc...

Le indagini avranno l'obiettivo di:

- *verificare l'esistenza di inquinamento di suolo, sottosuolo e acque sotterranee; definire il grado, l'estensione volumetrica dell'inquinamento; delimitare il volume delle aree di interrimento di rifiuti;*
- *individuare le possibili vie di dispersione e migrazione degli inquinanti dalle fonti verso i potenziali ricettori;*
- *ricostruire le caratteristiche geologiche ed idrogeologiche dell'area al fine di sviluppare il modello concettuale definitivo del sito;*
- *ottenere i parametri necessari a condurre nel dettaglio l'analisi di rischio sito specifica;*
- *individuare i possibili ricettori.*

A tal fine devono essere definiti:

- *l'ubicazione e tipologia delle indagini da svolgere, sia di tipo diretto, quali sondaggi e piezometri, sia indiretto, come i rilievi geofisici;*
- *il piano di campionamento di suolo, sottosuolo, rifiuti e acque sotterranee;*
- *il piano di analisi chimico-fisiche e le metodiche analitiche;*
- *la profondità da raggiungere con le perforazioni, assicurando la protezione degli acquiferi profondi ed evitando il rischio di contaminazione indotta dal campionamento*
- *le metodologie di interpretazione e restituzione dei risultati.*

Ubicazione dei punti di campionamento

L'ubicazione dei punti di campionamento deve essere stabilita in modo da corrispondere agli obiettivi indicati nei criteri generali. Per ogni matrice ambientale investigata (suolo, sottosuolo, acque sotterranee) si possono presentare due principali strategie per selezionare l'ubicazione dei punti di sondaggio e prelievo:

1. la scelta è basata sull'esame dei dati storici a disposizione e su tutte le informazioni sintetizzate nel modello concettuale preliminare e deve essere mirata a verificare le ipotesi formulate nel suddetto modello in termini di presenza, estensione e potenziale diffusione della contaminazione; questa scelta è da preferirsi per i siti complessi qualora le informazioni storiche e impiantistiche a disposizione consentano di prevedere la localizzazione delle aree più vulnerabili e delle più probabili fonti di contaminazione ["ubicazione ragionata"]
2. la scelta della localizzazione dei punti è effettuata sulla base di un criterio di tipo casuale o statistico, ad esempio campionamento sulla base di una griglia predefinita casuale; questa scelta è da preferirsi ogni volta che le dimensioni dell'area o la scarsità di informazioni storiche e impiantistiche sul sito non permettano di ottenere una caratterizzazione preliminare soddisfacente e di prevedere la localizzazione delle più probabili fonti di contaminazione ["ubicazione sistematica"]

A seconda della complessità del sito, i due approcci di cui sopra possono essere applicati contemporaneamente in funzione del differente utilizzo delle aree del sito. In particolare, nella scelta dei punti di indagine si terrà conto della diversità tra aree dismesse e/o libere da impianti e aree occupate da impianti, collocando i punti di campionamento in corrispondenza dei punti di criticità, valutando nel contempo la configurazione impiantistica e lo schema dei relativi sotto servizi. Oltre ai criteri di cui sopra, l'applicazione di tecniche indirette di indagine, là dove applicabili (analisi del gas interstiziale del suolo, indagini geofisiche indirette, ecc.), potrà essere utilizzata al fine di determinare una migliore ubicazione dei punti di indagine diretta (prelievi di terreno e acqua) ed ottenere una maggiore copertura areale delle informazioni. In tal caso il proponente potrà presentare un piano di indagini per approfondimenti successivi utilizzando le indagini indirette per formulare il modello concettuale preliminare del sito e concordando con le Autorità competenti modalità di discussione ed approvazione degli stati di avanzamento delle indagini. In tal caso il piano di indagini dovrà contenere una dettagliata descrizione della validità e della applicabilità delle tecniche di indagine indirette utilizzate.

Al fine di conoscere la qualità delle matrici ambientali (valori di fondo) dell'ambiente in cui è inserito il sito potrà essere necessario prelevare campioni da aree adiacenti al sito. Tali campioni verranno utilizzati per determinare i valori di concentrazione delle sostanze inquinanti per ognuna delle componenti ambientali rilevanti per il sito in esame; nel caso di campionamento di suoli, la profondità ed il tipo di terreno da campionare deve corrispondere, per quanta possibile, a quelli dei campioni raccolti nel Sito.

Selezione de/le sostanze inquinanti da ricercare

La selezione dei parametri dovrà avvenire essenzialmente sulla base seguente processo:

- Esame del ciclo produttivo e/o dei dati storici del sito (processo industriale, materie prime, intermedi, prodotti e reflui generati nel caso di un'area industriale dismessa; materiali smaltiti nel caso di una discarica; prodotti coinvolti nel caso di versamenti accidentali, eventuali analisi esistenti, etc.), per la definizione di un "set standard" di analiti (sia per le analisi dei terreni sia per quelle delle acque sotterranee) concettualmente applicabile, nel corso delle indagini, alla generalità delle aree di interesse.

- *Esame dello stato fisico, della stabilità e delle caratteristiche di reale pericolosità delle sostanze individuate nel "set standard" di analisi di cui al punto precedente per eseguire solo su queste la caratterizzazione completa di laboratorio;*

Nei punti distanti dalle possibili sorgenti di contaminazione si potrà inoltre selezionare un numero limitato di parametri indicatori, scelti sulla base della tossicità e mobilità dei contaminanti e dei relativi prodotti di trasformazione.

Il percorso logico di cui sopra dovrà essere validato prima dell'inizio dei lavori con l'approvazione del Piano di Indagini presentato dal proponente. Si potrà valutare la possibilità e l'opportunità di modulare il piano analitico in funzione delle peculiarità delle varie sub aree di interesse, individuando set specifici.

Modalità di esecuzione sondaggi e piezometri

I sondaggi saranno eseguiti, per quanta possibile, mediante carotaggio continuo a infissione diretta, rotazione/rotopercolazione a secco, utilizzando un carotiere di diametro idoneo ed evitando fenomeni di surriscaldamento.

I sondaggi da attrezzare a piezometro saranno realizzati, per quanta possibile, a carotaggio continuo a rotazione/rotopercolazione a secco, utilizzando un carotiere di diametro idoneo.

Campionamento terreni e acque sotterranee

Tutte le operazioni che saranno svolte per il campionamento delle matrici ambientali, il prelievo, la formazione, il trasporto e la conservazione del campione e per le analisi di laboratorio dovranno essere documentate con verbali quotidiani.

Dovrà inoltre essere riportato l'elenco e la descrizione dei materiali e delle principali attrezzature utilizzati.

Il piano di indagini dovrà contenere una dettagliata descrizione delle procedure di campionamento dei terreni e delle acque, le misure da effettuare in campo, le modalità di identificazione, conservazione e trasporto dei campioni, che una volta approvate dalle Autorità Competenti, prima dell'inizio dei lavori, costituiranno l'unico protocollo applicabile per la caratterizzazione del sito.

Ogni campione è suddiviso in due aliquote, una per l'analisi da condurre ad opera dei soggetti privati, una per archivio a disposizione dell'ente di controllo.

L'eventuale terza aliquota, quando richiesta, sarà confezionata in contraddittorio solo alla presenza dell'ente di controllo, sigillando il campione che verrà firmato dagli addetti incaricati, verbalizzando il relativo prelievo. La copia di archivio verrà conservata a temperatura idonea, sino all'esecuzione e validazione delle analisi di laboratorio da parte dell'ente di controllo preposto.

Terreni

I criteri che devono essere adottati nella formazione di campioni di terreno che si succedono lungo la colonna di materiali prelevati sono:

- *ottenere la determinazione della concentrazione delle sostanze inquinanti per strati omogenei dal punto di vista litologico;*
- *prelevare separatamente, in aggiunta ai campioni previsti per sondaggio, materiali che si distinguono per evidenze di inquinamento o per caratteristiche organolettiche, chimico-fisiche e litologico-stratigrafiche. Analisi di campo e analisi semiquantitative (p.es. test in sito dello spazio di testa) potranno essere utilizzate, laddove applicabili, per selezionare tali campioni e per ottenere una maggiore estensione delle informazioni sulla verticale. I campioni relativi a particolari evidenze o anomalie sono formati per spessori superiori ai 50 cm.*

Per corrispondere ai criteri indicati, da ciascun sondaggio i campioni dovranno essere formati distinguendo almeno:

- campione 1: da 0 a -1 metro dal piano campagna;
- campione 2: 1 m che comprenda la zona di frangia capillare;
- campione 3: 1 m nella zona intermedia tra i due campioni precedenti.

Con eccezione dei casi in cui esista un accumulo di rifiuti nella zona satura, la caratterizzazione del terreno sarà concentrata sulla zona insatura. Quando il campionamento dei terreni è specificatamente destinato a composti volatili, non viene previsto il campionamento in doppia aliquota.

Il campione dovrà essere formato immediatamente a seguito dell'estrusione del materiale dal carotiere in quantità significative e rappresentative. Un apposito campione dovrà essere prelevato nel caso in cui si debba provvedere alla classificazione granulometrica del terreno.

Quando sono oggetto di indagine rifiuti interrati, in particolare quando sia prevista la loro rimozione e smaltimento come rifiuto, si procederà al prelievo e all'analisi di un campione medio del materiale estratto da ogni posizione di sondaggio.

I sondaggi, dopo il prelievo dei campioni di terreno, saranno sigillati con riempimento dall'alto o iniezione di miscele bentonitiche dal fondo.

Acque sotterranee

Ai fini del presente documento si intende rappresentativo della composizione delle acque sotterranee il campionamento dinamico.

Qualora debba essere prelevata solamente la fase separata di sostanze non miscibili oppure si sia in presenza di acquiferi poco produttivi, può essere utilizzato il campionamento statico.

Qualora sia rinvenuto nei piezometri del prodotto surnatante in fase libera, occorrerà provvedere ad un campionamento selettivo del prodotto; sui campioni prelevati saranno condotti i necessari accertamenti di laboratorio finalizzati alla sua caratterizzazione per determinarne se possibile l'origine.

Metodiche analitiche

Le attività analitiche verranno eseguite da laboratori pubblici o privati che garantiscano di corrispondere ai necessari requisiti di qualità. Le metodiche analitiche applicate dovranno essere concordate fra le parti prima dell'inizio dei lavori, in fase di approvazione del piano di indagine proposto.

Analisi chimica dei terreni

Ai fini di ottenere l'obiettivo di ricostruire il profilo verticale della concentrazione degli inquinanti nel terreno, i campioni da portare in laboratorio dovranno essere privi della frazione maggiore di 2 cm (da scartare in campo) e le determinazioni analitiche in laboratorio dovranno essere condotte sull'aliquota di granulometria inferiore a 2 mm. La concentrazione del campione dovrà essere determinata riferendosi alla totalità dei materiali secchi, comprensiva anche dello scheletro.

Le analisi chimiche saranno condotte adottando metodologie ufficialmente riconosciute, tali da garantire l'ottenimento di valori 10 volte inferiori rispetto ai valori di concentrazione limite .

Analisi chimica delle acque

Le analisi chimiche saranno condotte adottando metodologie ufficialmente riconosciute, tali da garantire l'ottenimento di valori 10 volte inferiori rispetto ai valori di concentrazione limite (...)

RAPPRESENTAZIONE DELLO STATO DI CONTAMINAZIONE DEL SOTTOSUOLO

Tutti i risultati analitici ricavati nel corso delle fasi di indagine costituiscono la base di dati a cui riferirsi per definire il modello concettuale del sito e definire il grado e l'estensione della contaminazione nel sito.

L'obiettivo è quello di raccogliere e rappresentare tutti gli elementi che servono a definire: l'estensione dell'area da bonificare; i volumi di suolo contaminato; le caratteristiche rilevanti dell'ambiente naturale e costruito; il grado di inquinamento delle diverse matrici ambientali.

L'elaborazione dei risultati analitici deve esprimere l'incertezza del valore di concentrazione determinato per ciascun campione: in considerazione della eterogeneità delle matrici suolo, sottosuolo e materiali di riporto la deviazione standard per ogni valore di concentrazione determinato, da confrontare con i valori di concentrazione limite accettabili, dovrà essere stabilita sulla base del confronto delle metodologie che si intendono adottare per il campionamento e per le analisi dei campioni di terreno e di acqua.

Nella relazione che accompagna la presentazione dei risultati delle analisi devono essere riportati i metodi e i calcoli statistici adottati nell'espressione dei risultati e della deviazione standard.

I risultati delle attività di indagine svolte sul sito e in laboratorio devono essere espressi sotto forma di tabelle di sintesi, di rappresentazioni grafiche e cartografiche, tra cui devono essere realizzate:

- carte geologiche, strutturali ed idrogeologiche;
- carte dell'ubicazione delle indagini svolte e dei punti di campionamento;
- carte piezometriche, con evidenziazione delle direzioni prevalenti di flusso e dei punti di misura;
- carte di rappresentazione della contaminazione.

In particolare, carte di rappresentazione della isoconcentrazione dei contaminanti (es. curve di isoconcentrazione) potranno essere utilizzate principalmente per le acque sotterranee e applicate alla contaminazione del terreno qualora le condizioni di omogeneità del sottosuolo lo consentano.

Per i Siti di Interesse nazionale, potrà essere realizzata una banca-dati informatizzata collegata ad un Sistema Informativo Territoriale (SIT/GIS) per permettere la precisa archiviazione di tutti i dati relativi al sito e dei risultati di ogni tipo di investigazione.

ELABORAZIONE DI UN MODELLO CONCETTUALE DEFINITIVO DEL SITO

L'elaborazione di un Modello Concettuale Definitivo del sito è mirata alla rappresentazione dell'interazione tra lo stato di contaminazione del sottosuolo, ricostruita e rappresentata conformemente al paragrafo precedente, e l'ambiente naturale e/o costruito.

Il Modello Concettuale costituisce pertanto la base per l'applicazione dell'Analisi di Rischio che dovrà verificare gli scenari di esposizione in esso definiti.

Il Modello Concettuale Definitivo include:

- le caratteristiche specifiche del sito in termini di stato delle potenziali fonti della contaminazione (attive, non attive, in sicurezza, ecc.);
- grado ed estensione della contaminazione del suolo, del sottosuolo, delle acque superficiali e sotterranee del sito e dell'ambiente da questo influenzato; a tale fine dovranno essere individuati dei parametri specifici di rappresentazione (ad esempio; concentrazione media della sorgente secondaria di contaminazione);
- percorsi di migrazione dalle sorgenti di contaminazione ai bersagli individuati nello scenario attuale (siti in esercizio) o nello scenario futuro (in caso di riqualificazione dell'area).

Informazioni di dettaglio sulla formulazione del Modello Concettuale Definitivo ai fini dell'applicazione dell'Analisi di Rischio sono riportate nell'Allegato 1. In particolare, nel caso di siti in esercizio, il modello

concettuale dovrà inoltre includere tutte le informazioni necessarie per stabilire le priorità di intervento per la eventuale verifica delle sorgenti primarie di contaminazione e la messa in sicurezza e bonifica del sottosuolo. Parte integrante del modello concettuale del sito e la definizione del modello idrogeologico dell'area che descrive in dettaglio le caratteristiche idrogeologiche degli acquiferi superficiali e profondi in quanto possibili veicoli della contaminazione.

Relativamente alla verifica della concentrazione di soglia di contaminazione è necessario fare riferimento all'ALLEGATO 5 - Parte IV – Titolo V - del D.Lgs 152/06.

Più in generale e per quanto non definito dalla norma di Legge sopra riportata, è possibile fare riferimento al "Manuale per le indagini ambientali" dell' "Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e dei servizi tecnici" del quale si riportano alcuni stralci.

Gas interstiziale

In Italia, come anche in molti paesi europei e del resto del mondo, la legislazione ambientale non pone limiti di concentrazione massima ammissibile per i contaminanti presenti nel suolo in fase gassosa. Per questo motivo l'analisi dell'atmosfera del suolo (cosiddetto gas interstiziale o gas del suolo) è utilizzata come ausilio nella definizione preliminare d'aree ad elevata concentrazione di sostanze volatili da sottoporre successivamente ad indagini dirette del suolo, sottosuolo e acque sotterranee. Questo tipo d'indagine (spesso indicato col termine anglo-sassone di soil gas survey) è generalmente utilizzato in corrispondenza di punti vendita carburanti, parchi serbatoi, reti interrato, sia con lo scopo di mirare meglio il posizionamento dei sondaggi e/o piezometri, sia per approfondire le indagini nell'intorno di un punto risultato contaminato da composti volatili.

Le norme italiane non danno indicazioni sul numero e sulla posizione dei punti di monitoraggio del gas interstiziale. La "Standard Guide for Soil Gas Monitoring in the Vadose Zone (ASTM D 5314)" evidenzia che la definizione della griglia di campionamento è funzione del livello di dettaglio dell'indagine, delle condizioni geologiche e idrogeologiche del sito, precisando che per applicazioni finalizzate alla definizione dell'estensione di un suolo contaminato o di un pennacchio di contaminazione delle acque sotterranee, si può usare una griglia con celle di estensione tra 9 e 36 mq, con un lato di lunghezza variabile tra 3 e 6 m.

La stessa pubblicazione indica l'ubicazione dei punti di monitoraggio lungo profili come uno strumento utile in alcune situazioni, quali l'individuazione di perdite in corrispondenza di una tubazione interrata, fornendo un intervallo di campionamento compreso tra 8 e 30 m.

La profondità di prelievo è generalmente compresa tra 1 e 2 m; profondità maggiori richiederebbero l'uso di attrezzature che renderebbero non più conveniente il monitoraggio dei gas sia in termini economici sia

di tempo impiegato. Anche se più frequentemente il campionamento avviene in corrispondenza di una sola profondità, ciò non esclude la possibilità di effettuare più campionamenti lungo la stessa verticale (ad esempio a 1 m e 1,5 m dal piano campagna).

In termini di validità dei risultati acquisiti, si deve sempre tenere conto di quanto già discusso nel capitolo sui gas del suolo (Cap. 1), in particolare della volatilità dei contaminanti e della presenza di strati a bassa permeabilità che limitano la propagazione dei gas.

Sondaggi

Il D. Lgs. 152/06 non fornisce indicazioni sul numero dei sondaggi da effettuare nel sito. Tali indicazioni erano invece riportate nell'allegato 2 al D.M. 471/99, che suggeriva un numero minimo di sondaggi da effettuare in funzione della superficie del sito da investigare (vedi tabella seguente).

Estensione in mq	Numero sondaggi
<10.000	Almeno 5
10.000 – 50.000	Da 5 a 15
50.000-250.000	Da 15 a 60
250.000-500.000	Da 60 120
>500.000	Almeno 2 per ogni 10.000 mq

Il rapporto è stato anche rappresentato in Figura 9.10, in modo da facilitare la determinazione del numero di sondaggi da effettuare in un sito con una determinata superficie.

L'ubicazione dei punti di campionamento deve essere stabilita in modo da corrispondere agli obiettivi indicati nei criteri generali. Per ogni matrice ambientale investigata (suolo, sottosuolo, materiali di riporto, acque sotterranee, acque superficiali, atmosfera del suolo) e per gli ammassi di rifiuti stoccati. Si possono presentare due principali strategie per selezionare l'ubicazione dei punti di sondaggio e prelievo:

1. una ubicazione ragionata, in cui la scelta è basata sulla caratterizzazione del sito e sul modello concettuale fornito e può essere mirata a verificare le ipotesi formulate sulla presenza di contaminanti o sulle caratteristiche ambientali del sito
2. una ubicazione sistematica, in cui la scelta della localizzazione dei punti è effettuata sulla base di un criterio di tipo casuale o statistico, ad esempio campionamento sulla base di una griglia predefinita o casuale; questa scelta è da preferirsi ogni volta che le dimensioni dell'area o la scarsità di informazioni storiche e impiantistiche sul sito non permettano di ottenere una caratterizzazione soddisfacente e di prevedere la localizzazione delle più probabili fonti di contaminazione (vedi anche par. 2.2.2).

Nel caso in cui si proceda all'ubicazione ragionata, essa dovrà riferirsi alle aree di potenziale interesse ai fini della caratterizzazione così come definite nelle pagine precedenti. In questo caso, è bene riportare nella planimetria delle indagini da effettuare sia l'ubicazione dei sondaggi sia la posizione delle aree appena citate in modo da evidenziare la loro correlazione.

Nel caso in cui si proceda con una disposizione a griglia, il lato d'ogni maglia potrà variare da 25 a 100 m secondo il tipo e le dimensioni del sito oggetto d'indagine. I punti di indagine potranno essere localizzati in corrispondenza dei nodi della griglia (ubicazione sistematica) oppure all'interno di ogni maglia in posizione opportuna (ubicazione sistematica casuale), oppure posizionati casualmente all'interno delle maglie della griglia a seconda dei dati conoscitivi ottenuti dalla fase di indagine preliminare o della situazione logistica (presenza di infrastrutture, ecc.). Nei siti d'interesse nazionale si suggerisce una maglia iniziale con 50 m di lato, che in siti particolarmente estesi può raggiungere i 100 m di lato in corrispondenza di aree verdi, salvo infittimenti in caso di rilevamento di contaminazione.

Né il D.M. 471/99 né il D.Lgs 152/06 forniscono indicazioni sulla profondità da raggiungere con i sondaggi, che però è frequentemente indicata nei protocolli formulati per alcuni siti d'interesse nazionale (per es. Porto Marghera). Nel caso le conoscenze riguardanti la geologia siano scarse, può essere utile spingere alcuni dei sondaggi a profondità superiori a quelle previste, in modo tale da avere un quadro più chiaro dell'assetto geologico e idrogeologico del sito.

A questo proposito, è da evidenziare come l'allegato non preveda che la profondità dei sondaggi debba essere uguale a quella dei piezometri, vista la sostanziale differenza d'obiettivi. Questa osservazione, di poco conto nel caso di falde superficiali, acquista una forte rilevanza economica in presenza di falde a profondità maggiori.

Piezometri

Come per i sondaggi, il D.Lgs 152/06 non indica quantità precise di piezometri da installare, mentre il D.M. 471/99 forniva il numero di piezometri da installare in funzione della superficie del sito, così come riportato nella Figura 9.10.

Estensione in mq	Numero sondaggi
< 50.000	almeno 4
50.000 – 100.000	almeno 6
100.000 – 250.000	almeno 8
>250.000	Almeno 1 ogni 25.000 mq

Come evidente, il numero dei piezometri per ettaro è minore di quello previsto per i sondaggi, coerentemente con le caratteristiche di diffusione dei contaminati nelle acque sotterranee. Il grafico mostra la relazione tra la superficie del sito e il numero di piezometri.

L'ubicazione dei piezometri deve essere fatta sulla base della caratterizzazione idrogeologica dell'area, del modello concettuale del sito e delle caratteristiche dell'acquifero che si intende campionare (ad esempio superficie piezometrica, permeabilità, direzione prevalente del flusso) in modo da poter caratterizzare univocamente l'influenza del sito sulle caratteristiche complessive degli acquiferi in esame e la mobilità degli inquinati nelle acque sotterranee. Almeno un piezometro per ciascun acquifero considerato deve essere installato immediatamente a monte idrogeologico del sito, definito sulla base dei dati bibliografici o di indagini pregresse, in modo da costituire il valore di riferimento delle acque sotterranee "in ingresso" nell'area oggetto di indagine ed almeno uno per ciascun acquifero considerato deve essere localizzato

immediatamente a valle del sito, in modo da verificare le caratteristiche delle acque di falda "in uscita" dal sito. Nella stragrande maggioranza dei casi è d'uso, sia per motivi economici sia logistici, installare i piezometri sfruttando alcuni dei fori realizzati per i sondaggi; la loro ubicazione "risente" quindi di quella dei sondaggi stessi. All'interno di tale pratica, possono comunque essere utilizzati criteri diversi: costruire dei transetti posti perpendicolarmente all'ipotetica direzione di deflusso, con l'obiettivo di verificare la qualità delle acque sotterranee in corrispondenza di differenti sezioni dello stabilimento, o ubicare i piezometri a valle idrogeologica delle potenziali aree di contaminazione, in modo da verificare il loro eventuale impatto sulla qualità delle acque sotterranee.

A differenza del D.Lgs. 152/06, che non dà indicazioni sulla profondità dei piezometri, il D.M. 471/99 prescriveva che la profondità dei piezometri doveva comunque interessare almeno la base del primo acquifero individuato e comunque profondità non inferiori a due terzi dello spessore dell'acquifero stesso. Eventuali falde sospese dovevano essere considerate individualmente, al fine di una completa ricostruzione idrogeologica dell'area.

Questa prescrizione, di facile applicazione nel caso di acquiferi superficiali con spessori dell'ordine di pochi metri, comporta viceversa alcune difficoltà tecniche e oneri economici significativamente maggiori nel caso di acquiferi non superficiali e di spessore considerevole (vedi gli acquiferi multistrato, tipici di alcune pianure alluvionali) o sconosciuto.

Nel caso ad esempio di un acquifero con una soggiacenza di 20 m dal piano di campagna e con uno spessore presunto di 60 m, i piezometri dovranno spingersi ad una profondità di circa 80 m e comunque a non meno di 60 m dal piano campagna.

Nell'ottica di un'impostazione delle indagini che mantenga l'equilibrio tra esigenze conoscitive e economiche, potrebbe risultare più redditizio un approccio a definizione crescente che preveda la realizzazione di piezometri spinti per almeno 5 metri all'interno dell'acquifero quindi, in caso di contaminazione accertata, una successiva indagine d'approfondimento che tenga conto anche delle caratteristiche fisico-chimiche dei contaminanti rilevati.

Di particolare importanza è il menzionare nel Piano di caratterizzazione il rilievo topografico di tutti i piezometri, indispensabile per formulare qualsiasi considerazione sulla direzione di deflusso della falda. Se ai fini della caratterizzazione del singolo sito è sufficiente la determinazione della quota relativa per poter ricostruire l'andamento della superficie della falda, in molti casi, in particolare nei siti d'interesse nazionale, è necessario determinare le quote assolute in modo tale da rendere confrontabili e correlabili i dati relativi a siti contigui.

Il D.M. 471/99 non forniva indicazioni per quanto riguarda il numero di campioni da prelevare in ciascun sondaggio, mentre il D.Lgs. 152/06 prevede nell'allegato 2 al Titolo V della Quarta Parte, il prelievo di tre campioni: il primo da 0 a 1m dal piano campagna, il secondo nel metro che comprende la frangia capillare, il terzo nella zona intermedia tra i due campioni, concentrando quindi il campionamento nella sola zona non satura. Questa indicazione riprende, in parte, quelle degli enti preposti all'istruttoria dei Piani di caratterizzazione che prevedevano il prelievo di tre campioni (settore superficiale, intermedio e profondo) per ciascun sondaggio, con la clausola che nel caso la stratigrafia delle perforazioni mostrasse orizzonti con maggiori evidenze di contaminazione, si dovesse procedere al prelievo dei campioni di terreno rappresentativi di tali orizzonti.

(...)

Per quanto riguarda le modalità di campionamento dei terreni si rimanda al relativo capitolo sottolineando che, in generale, il protocollo di campionamento è concordato prima delle indagini con l'ente addetto al controllo in campo (Agenzie Regionali e/o provinciali per la protezione dell'ambiente).

Prelievo dei campioni d'acqua

Nel piano vanno descritti, da parte del proponente, i metodi di spurgo del pozzo e campionamento delle acque sotterranee giustificando le ragioni che hanno portato a tali scelte.

Qui si ha l'occasione di descrivere le determinazioni quali-quantitative da effettuare durante le indagini con l'ausilio di strumenti di campo, quali il rilievo della profondità di falda, la determinazione dei principali parametri chimico-fisici (pH, temperatura, potenziale redox, conducibilità elettrica, ossigeno disciolto), l'esecuzione di prove idrogeologiche nei piezometri, l'analisi dello spazio di testa.

Analisi chimiche

Per quanto riguarda la scelta dei contaminanti non si richiede che in tutti i siti le analisi chimiche siano condotte sulla lista completa delle sostanze indicate nelle tabelle con le concentrazioni limite. Per ogni sito, sulla base delle attività pregresse, della caratterizzazione specifica, e di ogni altra fonte di informazione sono selezionate le sostanze indicatrici che permettano di definire in maniera esaustiva l'estensione, il tipo di inquinamento e il rischio posto per la salute pubblica e l'ambiente. In ogni caso le analisi dovranno comprendere le sostanze che presentano maggiore tossicità, persistenza e mobilità ambientale.

E' quindi chiaro che la scelta dei parametri da analizzare è lasciata al progettista sulla base dei dati riportati nella descrizione del sito. Ciò implica che i parametri possano comprendere anche composti non indicati nelle tabelle ma utilizzati nel sito attualmente e/o nel passato.

Per alcuni siti di interesse nazionale (per esempio Napoli Orientale) sono state elaborate, a cura degli enti preposti, delle short list che indicano le determinazioni analitiche minime da effettuare sui campioni di suolo e di acque sotterranee.

In considerazione dell'impatto che i risultati delle determinazioni analitiche hanno sui campioni di terreno e acque sotterranee, è auspicabile che le analisi chimiche siano affidate ad un laboratorio accreditato dal SINAL o da altri organismi internazionali (vedi par. 7.5).

Metodiche analitiche differenti possono produrre risultati diversi, per questo motivo è consigliabile adottare per i suoli quelle contenute nella "Raccolta 2000 - Metodi di Analisi dei suoli" redatta dal CTN SSC Centro Tematico Nazionale "Suolo e Siti Contaminati", per acque sotterranee quelle del CNR-IRSA o dell'EPA. I limiti di rilevabilità dei metodi utilizzati dovranno comunque essere conformi ai requisiti previsti dalla normativa e, ove tecnicamente possibile, 10 volte inferiori rispetto ai limiti imposti dalle norme vigenti.

Il D.M. 471/99 prevedeva che le analisi dei campioni di suolo fossero condotte sulla frazione granulometrica fine (<2 mm) ed i risultati riferiti ad essa. In caso di superamento dei limiti, era effettuata la caratterizzazione completa della frazione grossolana (>2 mm), attraverso test di cessione con acqua deionizzata satura di CO₂ e sull'eluato erano determinati gli inquinanti rinvenuti nei suoli sulla frazione minore di 2 mm.

Ovviamente le analisi di sostanze volatili sui campioni di suolo dovevano essere eseguite sul campione tal quale non essiccato e non sottoposto al vaglio di 2 mm. Il D.Lgs 152/06, indica di scartare in campo la frazione maggiore di 2 cm e condurre le analisi sulla frazione minore di 2 mm, determinando la concentrazione del campione riferendosi alla totalità dei materiali secchi, comprensiva anche dello scheletro.

In considerazione del fatto che il recente D.Lgs. 152/06 prevede la redazione di un'analisi di rischio sito- specifica, le determinazioni analitiche devono comprendere anche quei parametri ad alta sensibilità quali la frazione di carbonio organico (f o c) e il pH per i quali è necessaria la misura diretta. Da ultimo, si sottolinea l'importanza di misurare il contenuto in acqua del campione poiché tale dato consente di confrontare le concentrazioni soglia calcolate mediante l'analisi di rischio (CSR, riferite al campione tal quale) con le concentrazioni tabellari (CSC, riferite alla sostanza secca). Per approfondimenti sulle tematiche riguardanti l'analisi di rischio si veda il documento "Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi assoluta di rischio ai siti contaminati" rev. 1, disponibile sul sito www.apat.it.

5. RILIEVO TOPOGRAFICO DELLA LINEA DI COSTA E DELLA SPIAGGIA EMERSA

Il Rilievo topografico sarà realizzato, con drone, e con le opportune strumentazioni a terra e riguarderà la ricostruzione della linea di costa e della spiaggia emersa per una superficie di circa 25 ettari.

Il livello di precisione della foto restituzione tramite SW SFM sarà pari a 5 cm. Il rilievo topografico riportato in DWG sarà rappresentato secondo una griglia regolare secondo le coordinate metriche UTM e Gauss Boaga. Per maggiori dettagli sull'area di intervento si rimanda all'elaborato grafico **"Lotto1_Piano dei Rilevamenti"**. La documentazione richiesta prevede i seguenti elaborati:

- Fotografie digitali dei punti focus;
- Generazione Ortofoto;
- Generazione nuvola di punti;
- Generazione modello 3D;
- Quotazione ed evidenzia punti FOCUS;
- Generazione DTM;
- Relazione sulle metodologie e strumentazioni utilizzate;
- Mappa 2D quotata, con curve di livello con equidistanza di ml 0,50 in copia cartacea ed in formato digitale editabile (DWG E DXF).

LEGENDA

	AREA RILIEVO BATIMETRICO
	AREA RILIEVO TOPOGRAFICO
	AREA RILIEVO BIOCENOSI

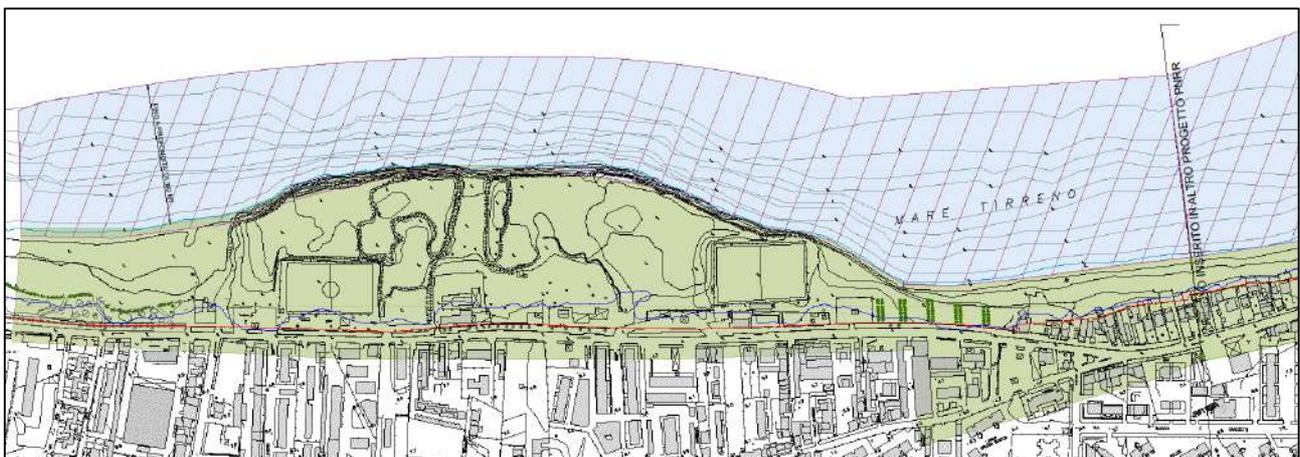


Fig. 5 – Planimetria rilievi

6. RILIEVO BATIMETRICO E MORFOLOGICO DELLA SPIAGGIA SOMMERSA E DELLE CORRENTI MARINE

L'area d'intervento interessata dal rilievo batimetrico si estende per un fronte di 1380 m lungo la costa prospiciente l'area della discarica e per una distanza dalla costa di circa 300 m.

Per quanto attiene ai rilievi topo-batimetrici di dettaglio è auspicabile l'impiego combinato di:

- un Sistema Aeromobile a Pilotaggio Remoto (SAPR) per la parte topografica, mediante la tecnica dello Structure From Motion;
- un Sistema Multi Beam Echo Sounder (MBES) per la parte batimetrica, da installare sia su un'imbarcazione che su sistema ASV (Automatic Surface vehicle) da impiegare in acque a ridotto pescaggio o difficilmente raggiungibili da imbarcazione.

Tutti i rilievi dovranno essere svolti nel pieno rispetto del Disciplinare Tecnico per la standardizzazione dei rilievi Idrografici, edito dall'Istituto Idrografico della Marina Italiana e saranno eseguiti da Idrografi di Classe A con mezzo nautico conforme alla vigente normativa di riferimento.

I risultati del rilievo saranno processati ed interpretati al fine di produrre un'accurata cartografia rappresentativa dell'area investigata.

I risultati ottenuti dalla combinazione tra i dati restituiti dal rilievo MultiBeam e dal drone consentiranno di avere un unico grid di riferimento XYZ che potrà essere esportato in vari formati per l'impiego in ambiente sia CAD che BIM. I dati saranno inoltre perfettamente gestibili in ambiente GIS. La cartografia riporterà tutte le indicazioni di progetto, le informazioni geodetiche utilizzate, gli offset e tutte le informazioni necessarie per la corretta leggibilità dell'elaborato grafico.

I fotogrammi acquisiti dal volo drone saranno importati e processati con apposito software (PIX4D o similare) che, attraverso una serie di passaggi di processing, consentirà di estrarre la nuvola di punti e il modello digitale del terreno, entrambi georeferenziati, sui quali generare curve di livello sovrimposte all'ortofoto.

L'impiego del sistema RTK e la verifica dei punti con i grigliati GK2 consentiranno di riferire tutte le misurazioni svolte al Livello Medio Mare (L.M.M.); analogamente la linea di costa, che potrebbe risultare frastagliata e interessata da numerosi artefatti in quanto naturalmente soggetta al moto ondoso, in fase di post-processing sarà sottoposta ad apposite operazioni di filtraggio e di rettifica cartografica per renderla quanto più possibile conforme allo stato reale.

7. INDAGINI ARCHEOLOGICHE

Lo studio sulle potenzialità archeologiche del sito dovrà essere curato **da esperto Archeologo iscritto nell'Elenco Nazionale del MiC degli Operatori Abilitati** e vedrà la trattazione sia della fase operativa di indagine che dei rapporti con gli Enti competenti (tra cui la Soprintendenza del Mare della regione Sicilia).

La Relazione Archeologica dovrà contenere la raccolta di tutte le informazioni bibliografiche relative alla zona soggetta ad indagine e dovrà essere corredata da apposita **“Verifica preventiva dell'interesse archeologico” (VPIA)**.

Al fine di minimizzare i tempi e le necessità di impiego di operatori in immersione diretta, si procederà, inizialmente, alla esecuzione di una serie di indagini geofisiche sull'intera area di interesse, da realizzarsi mediante la realizzazione di specifico rilievo sismo-acustico a mezzo sistema Sub Bottom Profiler e Magnetometro. I dati ottenuti saranno ovviamente integrati con quanto rilevato con le indagini a mezzo Side Scan Sonar e Multi Beam Echo Sounder previste e già trattate nei paragrafi precedenti.

7.1 Rilievo Sub Bottom Profiler e Magnetometrico

L'indagine sismo-acustica tramite sistema **Sub Bottom Profiler (SBP)** consiste, in linea di principio, nella produzione di uno scoppio e la conseguente registrazione delle relative riflessioni che si generano. Le onde prodotte tenderanno a propagarsi in tutte le direzioni e, dopo un cammino lungo l'intera colonna d'acqua sottostante, penetreranno nel sottosuolo marino.

Giunte all'interfaccia tra acqua e terreno, trattandosi di mezzi caratterizzati da differenti proprietà fisiche (tra cui impedenza acustica, densità, ecc.), le onde saranno in parte trasmesse verso strati più profondi e in parte riflesse verso la superficie, dove saranno ricevute dagli idrofoni appositamente posizionati, atti a trasmettere i segnali ricevuti all'unità di registrazione ad esse collegata. Qui i dati verranno visualizzati in tempo reale generando la sezione sismica e, contemporaneamente, immagazzinati nelle unità di memoria dedicate per le successive fasi di processing.

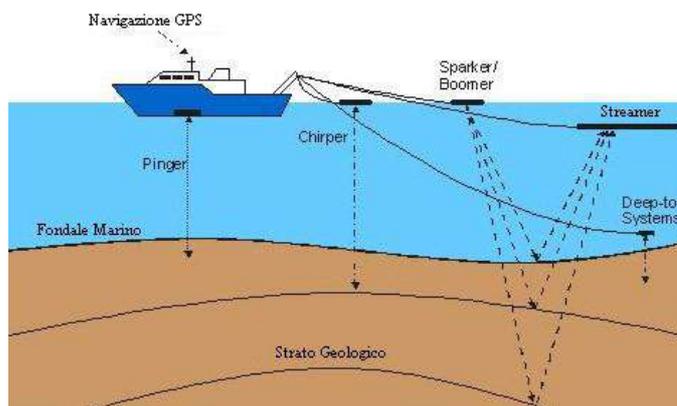


Fig. 7.1.1 Schema di funzionamento del sistema SBP

Per le indagini sismo-stratigrafiche ad alta risoluzione si potranno utilizzare sistemi all'avanguardia (come il sistema i Sub-Bottom Profiling Systems o gli Sparker systems) che, in base alla natura geologica del fondale, consentiranno di ottenere profili stratigrafici estesi fino ad una profondità fino a 40 m al di sotto del fondale marino.

Il sistema impiegato generalmente costituito da un topside (power unit) installato a bordo di mezzo nautico interfacciato con il PC consentirà la gestione e registrazione dei file e della navigazione mediante un sistema di trasduttori (da 2 a 4) da 3.5-12kHz montato su un palo disposto su un lato dell'imbarcazione.

Per una maggiore accuratezza nei rilievi, inoltre, l'indagine dovrà essere svolta con entrambe le frequenze di lavoro.

I rilievi dovranno essere eseguiti secondo un piano di navigazione a linee parallele con un'interlinea di 5 m al fine di ottimizzare i tempi di indagine e la qualità del dato geofisico. La penetrazione massima che il segnale sismico può raggiungere nel dato SBP dipende dalla colonna d'acqua e dalla tipologia di substrato attraversato dalle onde acustiche. Tutti i profili sismici verranno presentati in tempi doppi (TWT) e in m, inserendo prima dell'inizio delle operazioni giornaliere il valore di velocità del suono ricavato dalla sonda di velocità SVP. Per l'elaborazione dei dati si impiegheranno software dedicati in cui la procedura di processing prevede un controllo preliminare sullo spettro delle frequenze registrate al fine di poter eliminare eventuali rumori.

Successivamente si procederà con la rimozione della colonna d'acqua mediante gli operatori *Mute* e *Normalize* al fine di normalizzare il segnale sismico e l'operatore *Swell filter* per correggere il fenomeno del moto ondoso e linearizzare in modo corretto le superficie degli orizzonti sismici. Altri operatori generalmente applicati sono *filtri "passa-banda"* (2000-4000 Hz), *Gain* e *Trace Mixing* che permettono di rendere più chiaro il profilo sismico. Una volta processato il dato si interpreteranno i profili sismici acquisiti attraverso la digitalizzazione degli orizzonti stratigrafici e la localizzazione di eventuali target presenti, opportunamente inseriti in una Target List riportante l'identificativo (ID), le coordinate metriche in formato lat. e long. e lo spessore di interro.

Al termine sarà generata una cartografia che evidenzi le rotte acquisite e tutti i relativi target riconosciuti.

Al fine di dare una migliore interpretazione a quello che potrebbe essere un potenziale target di natura archeologica, ad integrazione del dato sismo-acustico, si provvederà all'esecuzione di un survey magnetometrico mirato all'identificazione di specifiche anomalie magnetiche (generate ad esempio dalle zavorre delle antiche navi, dai chiodi del fasciame, ecc.).

La finalità dell'attività di acquisizione magnetica marina mediante un magnetometro è quello di caratterizzare da un punto di vista geomagnetico l'area di interesse e, più in dettaglio, individuare possibili oggetti ferromagnetici presenti sul fondo o dentro la coltre sedimentaria (oggetti sepolti) ascrivibili a possibili ordigni e/o altro materiale di natura antropica. L'attività di prospezione magnetica generalmente è condotta con l'utilizzo di un sensore magnetico ai vapori di Cesio in configurazione longitudinale, che permette l'identificazione di eventuali anomalie del Campo Magnetico Terrestre (CMT), coniugando costi, rapidità di indagine e risultati.

Il sistema è costituito da tre elementi principali: un emettitore di fotoni, una camera contenente vapore di Cesio e un cuscino gassoso che avvolge i primi due. A questi sensori primari si aggiunge un altimetro per avere informazione sull'altezza alla quale si trova lo strumento dal fondo e uno chassis, il cosiddetto Tow fish, che racchiude tutte le componenti sopra elencate e su cui sono installati una serie di pesi e di pinne stabilizzatrici.

Il principio operativo si basa sulla capacità di un atomo di Cesio di poter esistere in tutti i sei livelli energetici (orbitali elettronici); quando un atomo di Cesio all'interno della camera incontra un fotone proveniente dall'emettitore, salta ad uno stato energetico più elevato ed emette quindi il fotone, ricadendo ad uno stato di energia più basso. Questo passaggio viene utilizzato per la calibrazione del magnetometro: si lascia il sensore per circa 15 minuti poggiato sul fondo lontano da eventuali sorgenti magnetiche per effettuare l'autocalibrazione dello stesso e far sì che lo strumento si imponi sul valore del CMT locale dell'area da indagare.

Successivamente, quando il sensore viene esposto ad eventuali anomalie del CMT (effetto Zeeman), si producono dei salti negli orbitali elettronici che si identificano nelle ricadute con relative emissioni energetiche misurabili, tradotte in "picchi" sulla finestra del software usato per l'acquisizione.

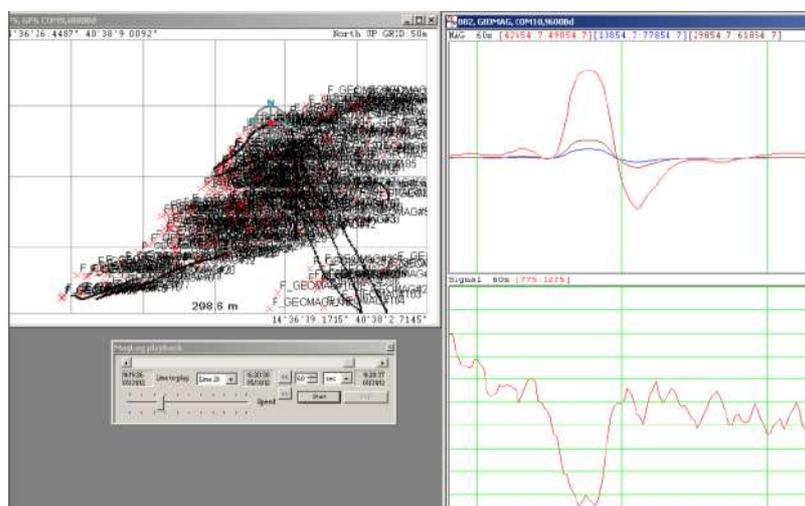


Fig.7.1.2 Acquisizione dati magnetometrici: finestra di acquisizione ed esempio di anomalia magnetica rilevabile con il sistema impiegato

La strumentazione utilizzata per le indagini è quindi composta da un GPS in modalità RTK, un software di navigazione, due personal computer, di cui uno atto alla navigazione e l'altro all'acquisizione dei dati magnetometrici, un magnetometro ai vapori di Cesio oltre ad idonea imbarcazione, regolarmente abilitata.

L'area indagata rilevata principalmente secondo linee parallele alla costa con una spaziatura compresa tra 3 e 5 metri consentirà il migliore risultato. Il limite minimo di acquisizione è, preventivamente, fissato alla profondità minima operativa per lo spread mezzo nautico-magnetometro di circa 1 m.

Generalmente l'intensità del picco rilevato è proporzionale alla quantità di materiale ferromagnetico presente. I vari picchi legati alle anomalie magnetiche saranno riportati su una cartografia in scala idonea, in modo da valutare la reale distribuzione dei vari oggetti ferromagnetici presenti sul fondo marino nelle aree indagate.

Sia i dati restituiti dal SBP che quelli magnetometrici saranno opportunamente restituiti in cartografia, e su questa a sua volta sarà riportata la sovrapposizione con l'impronta delle opere di protezione costiera in progetto.

Tutti i rilievi strumentali saranno eseguiti sotto la supervisione dell'archeologo incaricato e i target più rappresentativi saranno oggetto di specifica ispezione diretta a mezzo Operatore Tecnico Subacqueo, che procederà, di concerto con l'archeologo ed eventualmente con il supporto degli Enti preposti, alla esecuzione di una serie di saggi preliminari, finalizzati ad appurare la vera natura del target identificato.

8. DEFINIZIONE DELLA MODALITA' DI ACCESSO

L'accesso all'intera area interessata dall'esecuzione dei sondaggi potrà essere effettuato dai vari varchi carrabili che si aprono sulla via Messina Marine. Per raggiungere i punti ove effettuare le indagini, ubicati nei vari settori come definiti al paragrafo 3.1, potranno essere sfruttati uno o più accessi così come indicato in Fig.8, sfruttando le piste esistenti o, se necessario, approntandone di nuove.

La possibilità di sfruttare tali viabilità esistenti consente di minimizzare gli interventi propedeutici all'accesso ai luoghi. Tali interventi, qualora necessari, saranno limitati a moderati spianamenti senza l'apporto di materiale. Particolare attenzione deve essere posta nell'esecuzione dei sondaggi disposti lungo il fronte di costa, avendo cura di piazzare i mezzi necessari a debita distanza dal ciglio interessato da crolli conseguenti ai fenomeni di erosione marina. I mezzi utilizzati per l'esecuzione delle prove saranno del tipo cingolato e, pertanto, in grado di percorrere le piste esistenti.

Dall'immagine satellitare riportata nel seguito è possibile apprezzare i varchi di accesso esistenti che afferiscono alla sezione d'interesse.



Fig. 8 – Foto satellitare con varchi accesso per le indagini