
Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA)

**“Linee Guida per la redazione del Progetto di Monitoraggio Ambientale
delle opere soggette a procedura di VIA”**

(Bozza del documento ai fini della consultazione pubblica)

BOZZA

13 marzo 2026

Sommario

Premessa	4
PARTE I – INDICAZIONE DI CARATTERE GENERALE	4
1 Riferimenti normativi e metodologici	4
2 Criteri per la redazione del PMA	4
3 Indicazioni operative generali	4
4 Modalità di restituzione dei dati	4
5 Figure organizzative di riferimento	4
6 Coordinamento con ulteriori strumenti di gestione ambientale	4
PARTE II – INDICAZIONI OPERATIVE SPECIFICHE	5
7 Biodiversità	5
8 Patrimonio agroalimentare	5
9 Suolo	5
10 Sedimenti	5
11 Geologia	6
11.1 Pericolosità geologiche e patrimonio geologico	6
11.1.1 Obiettivi specifici del monitoraggio ambientale	6
11.1.2 Ambito oggetto del monitoraggio ambientale	6
11.1.2.1 Ambito normativo	6
11.1.2.2 Ambito di indagine	7
11.1.3 Localizzazione delle aree di indagine e dei punti di monitoraggio	8
11.1.4 Parametri descrittivi (indicatori)	9
11.1.5 Frequenza e durata dei monitoraggi	10
11.1.6 Metodologie di riferimento/tecniche di misura	10
11.1.7 Valori di riferimento	12
11.1.8 Bibliografia	14
11.1.9 Scheda tecnica	16
11.2 Erosione costiera	19
11.2.1 Obiettivi specifici del monitoraggio ambientale	19
11.2.2 Ambito oggetto del monitoraggio ambientale	19
11.2.2.1 Ambito normativo	19
11.2.2.2 Ambito di indagine	19
11.2.3 Localizzazione delle aree di indagine e dei punti di monitoraggio	19
11.2.4 Parametri descrittivi (indicatori)	20
11.2.5 Frequenza e durata dei monitoraggi	21
11.2.6 Metodologie di riferimento/tecniche di misura	22

11.2.7	Valori di riferimento	22
11.2.8	Bibliografia	22
11.2.9	Scheda tecnica	23
11.3	Morfologia del fondale marino	24
11.3.1	Obiettivi specifici del monitoraggio ambientale	24
11.3.2	Ambito oggetto del monitoraggio ambientale	24
11.3.2.1	<i>Ambito normativo</i>	24
11.3.2.2	<i>Ambito di indagine</i>	24
11.3.3	Localizzazione delle aree di indagine e dei punti di monitoraggio	24
11.3.4	Parametri descrittivi (indicatori)	25
11.3.5	Frequenza e durata dei monitoraggi	25
11.3.6	Metodologie di riferimento/tecniche di misura	25
11.3.7	Valori di riferimento	26
11.3.8	Bibliografia	26
11.3.9	Scheda tecnica	27
12	Acque	28
13	Atmosfera	28
14	Sistema paesaggistico	28
15	Agenti fisici	28
16	Cambiamenti climatici	28

11 Geologia

La tematica Geologia, ai fini delle presenti Linee guida, comprende le sotto tematiche pericolosità geologiche e patrimonio geologico, erosione costiera e morfologia del fondale marino.

11.1 Pericolosità geologiche e patrimonio geologico

11.1.1 Obiettivi specifici del monitoraggio ambientale

Il Progetto di monitoraggio ambientale, in funzione delle caratteristiche dell'ambiente geologico interessato e della tipologia di opera, deve prevedere, o motivatamente escludere, uno specifico monitoraggio degli aspetti relativi alla geologia e al sottosuolo.

Il progetto di monitoraggio della componente Pericolosità geologiche si articolerà secondo le fasi *ante operam*, corso d'opera ed esercizio; il monitoraggio durante la fase di esercizio dell'opera avrà una durata che dipende dalla tipologia di opera e dal fenomeno geologico oggetto del monitoraggio.

Sulla base dei risultati dello Studio di Impatto Ambientale, nell'ambito della caratterizzazione generale della componente, sviluppata anche con l'ausilio di sopralluoghi diretti, indagini (geologiche, geognostiche, geofisiche ecc.), prove di laboratorio, monitoraggi e consultazione di specifiche carte, database, inventari e studi esistenti sull'area saranno individuate le aree soggette a pericolosità o a rischio da un punto di vista geologico e su di esse verrà sviluppato il PMA.

Le aree da sottoporre a monitoraggio potranno essere identificate in quanto soggette:

- "a pericolosità/rischio" già prima dell'inizio dei lavori e quindi da monitorare in quanto potenzialmente pericolose per l'opera che si andrà a realizzare e per le attività e le presenze già esistenti;
- "a pericolosità/rischio" in quanto i lavori di realizzazione dell'opera, o le indagini necessarie alla progettazione, potrebbero innescare fenomeni pericolosi da un punto di vista geologico e quindi da monitorare già in corso d'opera;
- "a pericolosità/rischio" in quanto l'opera realizzata potrebbe, anche nel corso del tempo, produrre effetti negativi, indurre o innescare fenomeni geologici pericolosi per le aree circostanti e quindi da monitorare durante l'esercizio dell'opera stessa per un periodo da definire di volta in volta.

Per quanto riguarda il monitoraggio finalizzato alla tutela del patrimonio geologico, questo sarà orientato verso quelle aree, identificate nel SIA, in cui è individuata una località o un territorio in cui è presente un interesse geologico, geomorfologico o idrogeologico meritevole di conservazione (Geosito) e censito all'interno dell'Inventario Nazionale dei Geositi (ING) <https://sinacloud.isprambiente.it/portal/apps/sites/#/inventario-nazionale-geositi-1>.

11.1.2 Ambito oggetto del monitoraggio ambientale

11.1.2.1 Ambito normativo

In merito alle attività antropiche di sottosuolo il D.Lgs. 152/2006 definisce gli *standard* ambientali, il Codice civile (Art. 840) stabilisce la proprietà di suolo e sottosuolo, prevedendo limiti per le opere che possono danneggiare proprietà vicine e il D.Lgs. 382/1994 regola specifiche attività minerarie. Sono attinenti, inoltre, gli "Indirizzi e linee guida per il monitoraggio della sismicità, delle deformazioni del suolo e delle pressioni di poro nell'ambito delle attività antropiche" emanate dal MiSE nel 2014 (https://unmig.mase.gov.it/wp-content/uploads/2018/07/85_238.pdf) e le "Linee guida per l'utilizzazione della risorsa geotermica a media e alta entalpia" emanate dal MiSE nel 2016 (<https://unmig.mase.gov.it/wp-content/uploads/2016/10/linee-guida-geotermia.pdf>).

Si rimanda, infine, al D.P.R. 380/2001 (Testo Unico dell'Edilizia) per gli aspetti urbanistici e edilizi generali, ed alle Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC 2018; Decreto Ministeriale del 17 gennaio 2018) per la progettazione geotecnica e strutturale, l'esecuzione e il collaudo delle opere.

L'ambito normativo relativo al rischio geochimico è caratterizzato da un insieme di disposizioni legislative e tecniche prevalentemente riferite ai rischi per la salute umana negli ambienti di vita e di lavoro, ai valori limite di esposizione, e alle condizioni per la gestione dei suoli e delle matrici ambientali:

Radon

- D.Lgs. 101/2020, art. 12 (Recepisce la Direttiva 2013/59/Euratom)

Anidride Carbonica (CO₂)

- D.Lgs. 81/2008, Allegato XXXVIII (Valori limite di esposizione professionale)
- Determinazione Regione Lazio n. A00271 del 19/01/2012
- Determinazione Regione Lazio n. G10802 del 26/09/2016
- *(Regolamentano l'edificabilità e le misure tecniche in aree a rischio CO₂)*

Idrogeno Solforato (H₂S)

- D.Lgs. 81/2008, Allegato XXXVIII (TLV/TWA, TLV/STEL)

Amianto

- D.Lgs. 81/2008, Titolo IX, Capo III – Art. 254
- D.M. 06/09/1994, Allegato 2b (campionamento e analisi amianto)
- UNI EN ISO 16000-7 (misure amianto aerodisperso – *indoor*)
- Rapporto ISTISAN 15/5
- D.Lgs. 152/2006, Allegato 5, Tab. 1 – CSC per suoli (1000 mg/kg)
- D.P.R. 120/2017 – Terre e rocce da scavo (CSC amianto = 1000 mg/kg)
- D.M. Ambiente 1° marzo 2019, n. 46 – CSC per suoli agricoli (100 mg/kg)

Non è presente a livello nazionale una normativa di riferimento a tutela di geositi e patrimonio geologico se non in minima parte la "Legge Galasso" (Legge n. 431 del 1985) che include "elementi geologici"; tuttavia alcune regioni italiane hanno adottato leggi specifiche volte alla tutela del patrimonio geologico. Queste leggi mirano al censimento di "geositi" (*"località, area o territorio in cui è possibile individuare un interesse geologico o geomorfologico per la conservazione"*, Wimbledon, 1996), alla loro tutela, valorizzazione, integrandoli nella pianificazione territoriale e nelle attività di promozione culturale e turistica.

11.1.2.2 Ambito di indagine

L'ambiente geologico andrà monitorato dopo la valutazione e l'individuazione degli impatti ritenuti "significativi" dallo Studio di Impatto Ambientale. Gli impatti sull'ambiente geologico possono considerarsi significativi se:

- l'opera e il volume significativo di sottosuolo (definito ai sensi delle vigenti norme tecniche per le costruzioni) interessano unità geologiche, terreni di scadenti proprietà geotecniche, dissesti preesistenti caratterizzati da condizioni di instabilità, o che potrebbero diventare instabili a seguito della realizzazione del progetto;
- l'interazione tra opera e terreni o unità geologiche (sottosuolo) può potenzialmente comportare: fenomeni di collasso, espansione volumetrica o cedimenti differenziali che compromettono la stabilità del complesso sottosuolo-struttura, frane, erosione, subsidenza;
- l'opera induce modifiche sostanziali al regime idrologico/idrogeologico in condizioni transitorie o permanenti, dei chimismi delle acque interstiziali o coinvolge la generazione o variazione delle direzioni di flusso di gas in profondità, all'interno di suoli e unità geologiche, che possano indirettamente indurre o innescare fenomeni di pericolosità geologica. Si riportano, a titolo esemplificativo, casi di subsidenza indotta da aggrottamento delle acque, instabilità connesse a carichi o scarichi tensionali in condizioni non drenate e successiva fase di consolidazione o rigonfiamento, frane indotte da operazioni di rapido svasso di dighe, erosione, sifonamento, instabilità del fondo scavo per sollevamento in corrispondenza

di paratie, alterazione per dissoluzione chimica, fenomeni di rigonfiamento e perdita di resistenza in argille dovuti a variazione della concentrazione ionica nell'acqua interstiziale, sollevamenti/abbassamenti del terreno o di opere dovuti alla generazione di gas in profondità in discarica;

- l'opera induce sostanziali variazioni termiche o altera i gradienti termici all'interno di suoli e unità geologiche, generando deformazioni, cambi di resistenza, rigidità e di pressioni neutre che possano generare fenomeni di pericolosità geologica (ad es. in applicazioni geotermiche, *energy geostructures*, stoccaggio geologico, installazione sotterranea di cavi di alta tensione, congelamento terreni, deformazioni indotte da cicli di gelo/disgelo e contrazioni/dilatazioni termiche in terreni e rocce);
- la realizzazione dell'opera, a seguito di scavi in superficie o in sottterraneo sia nell'area direttamente interessata sia nelle vicinanze, può innescare fenomeni di collasso, subsidenza o processi geologici, quali erosione, rotture ecc.;
- l'attività in progetto induce sostanziali variazioni della topografia e morfologia dei luoghi (subsidenza areale), con possibile esposizione dei terreni a fenomeni di alluvionamento, limitazione della capacità di drenaggio, processi erosivi;
- l'attività prevede estrazione e consumo o stoccaggio geologico di risorse naturali di valore economico (vedi cave per inerti o materiale da costruzione, idrocarburi, acqua e fluidi geotermici, CO₂, Idrogeno);
- l'attività può indurre o innescare sismicità significativa;
- l'opera interferisce con forme geomorfologiche, formazioni geologiche, siti di particolare pregio naturalistico e scientifico che possono subire alterazioni o danni dalla sua esecuzione.

Allo stesso modo gli impatti delle pericolosità geologiche sul progetto possono considerarsi "significativi", e quindi determinare la necessità di un Progetto di Monitoraggio, se le persone o le strutture vengono esposte a effetti dannosi, inclusi pericoli e rischi per la salute e la vita umana. Ad esempio:

- aree soggette a "rischio geochimico". Esso può essere indotto dalla presenza e/o mobilitazione di sostanze geogeniche, quali ad esempio sostanze volatili (radon, CO₂, H₂S, CH₄, Hg), solide (minerali asbestiformi, minerali di elementi radioattivi) e liquide (es. acque di drenaggio acido, idrocarburi) potenzialmente nocive alla salute umana (es. per tossicità e/o cancerogenicità). Sono escluse dalla valutazione del rischio geochimico le situazioni di contaminazione antropica già comprese in altri iter procedurali (es. procedure di bonifica ai sensi del titolo V, parte quarta del D. Lgs. 152/2006, piani regionali per la gestione dell'inquinamento diffuso);
- area a elevata pericolosità da frane o altri processi morfogenici, quali aree in subsidenza; aree carsiche con rischio di collasso o sprofondamento (*Sinkholes*); aree minerarie abbandonate ecc.;
- localizzazione delle opere su/o in terreni/rocce di scadenti caratteristiche fisico – meccaniche, quali terreni argillosi di alta plasticità, terreni rigonfianti, sabbie sciolte sature potenzialmente soggette a liquefazione, rocce molto fratturate e/o alterate ecc.;
- pericolosità sismotettonica locale elevata dovuta alla presenza nell'area interessata o nelle vicinanze di faglie sismogeniche e/o di faglie capaci; possibilità di innesco di sismicità da parte dell'opera stessa e/o dalle attività propedeutiche a realizzarla; possibilità di effetti cosismici, quali rotture del terreno (fagliazione o deformazione superficiale), fenomeni di liquefazione, cedimenti e altri effetti sull'ambiente che potrebbero arrecare danni alle strutture o mettere a rischio l'incolumità delle persone.

11.1.3 Localizzazione delle aree di indagine e dei punti di monitoraggio

Le aree oggetto del Progetto di Monitoraggio saranno identificate nel SIA in quanto caratterizzate dalla presenza di pericolosità geologiche, sia di origine naturale che antropica, che possono interferire con l'opera.

Le aree e i punti di monitoraggio saranno identificati nelle zone soggette a pericolosità come le zone in frana o suscettibili di frana e, comunque, nelle zone ritenute non stabili sia prima della realizzazione dell'opera, sia potenzialmente divenute tali dopo la realizzazione dell'opera stessa.

La localizzazione delle aree e dei punti di monitoraggio deve comunque tener conto della complessità geologica e idrogeologica dell'area, includendo i differenti terreni, unità geologiche e acquiferi, anche sovrapposti, potenzialmente impattati dalla realizzazione dell'opera.

Le aree potenzialmente soggette a rischio geochimico saranno oggetto di monitoraggio in corrispondenza del sito previsto per la localizzazione dell'opera e di un suo immediato intorno con particolare riferimento alla fase *ante operam* con gli specifici obiettivi di definire un livello di *background* e di predisporre eventuali azioni di mitigazione del rischio in fase di realizzazione dell'opera e in fase di esercizio.

Le aree caratterizzate da patrimonio geologico saranno oggetto di monitoraggio ogniqualvolta risultino interessate dalle interferenze derivanti dalla realizzazione dell'opera.

11.1.4 Parametri descrittivi (indicatori)

Il Progetto di Monitoraggio Ambientale riguarda essenzialmente gli scenari di impatto identificati nel par. 11.1.2 "Ambito oggetto del monitoraggio ambientale".

I parametri da monitorare possono riguardare sia grandezze utili a descrivere il comportamento cinematico del fenomeno quali, nel caso esemplificativo di una frana, spostamenti, deformazioni, rotazioni, accelerazioni, sia parametri, variabili di stato e fattori che possono indirettamente essere correlati ai fenomeni in corso e alla loro evoluzione (ad es. livelli di falda, conducibilità elettrica delle acque, pressioni totali e neutre, parametri atmosferici, temperatura e flusso di calore all'interno del mezzo poroso ecc.).

Il monitoraggio finalizzato al controllo della pericolosità geologica deve essere orientato nella fase di *ante operam* alla migliore caratterizzazione del fenomeno di pericolosità geologica, considerando la sua estensione areale, la sua profondità, l'interazione con l'opera e i fattori predisponenti e innescanti.

Nei casi di interazione sottosuolo-struttura che possa indurre fenomeni di collasso o espansione volumetrica, cedimenti differenziali che compromettano la stabilità, erosione, sifonamento, instabilità di versanti e instabilità globale del complesso opera-terreno, il monitoraggio geotecnico consiste nelle operazioni utili a controllare e caratterizzare le variazioni dei parametri geotecnici, delle variabili di stato e il comportamento idraulico, meccanico, termico e chimico nel tempo, all'interno di terreni e unità geologiche, che possano avere impatti su un fenomeno di pericolosità geologica.

Le tecniche da utilizzare dipenderanno dalla tipologia di terreni e unità geologiche interessate, dalle variabili e dai fenomeni da monitorare.

Il monitoraggio dovrà tenere anche conto del modello geologico, idrogeologico e geotecnico dell'area, predisposto sulla base delle risultanze delle indagini in situ appropriate alla diversa natura dei terreni e delle unità geologiche interessate. Al fine di ridurre le incertezze e determinare le proprietà fisiche, lo stato di addensamento/di consistenza, la saturazione e le proprietà idro-meccaniche dei terreni e delle unità geologiche monitorate, andranno eseguite analisi di laboratorio su campioni indisturbati prelevati in prossimità delle suddette indagini in situ.

Il monitoraggio topografico, attraverso l'uso di strumenti di rilievo topografico e geodetico, controlla e definisce gli spostamenti di caposaldi opportunamente posizionati nel corpo di frana da monitorare.

Questo tipo di monitoraggio può essere integrato con l'utilizzo del "Sistema di Posizionamento Globale" (GPS) che consente di determinare e calcolare eventuali spostamenti dei caposaldi posizionati nell'area di frana con precisione millimetrica.

Il monitoraggio delle deformazioni del terreno verrà eseguito attraverso l'analisi di dati InSAR sugli areali che verranno valutati essere potenzialmente suscettibili a deformazioni in funzione del tipo di opere da realizzare. Sarà necessario valutare, di volta in volta, se è sufficiente l'uso di dati Sentinel, in banda C, messi a disposizione dall'*European Ground Motion Service* – EGMS, o se è opportuno analizzare anche dati COSMO-SkyMed, in banda X. Per rendere più efficace il monitoraggio InSAR è da valutare l'opportunità di installare, qualora non fossero presenti, dei *corner reflector*. All'analisi dei dati InSAR verrà affiancata quella di dati relativi a reti GNSS disponibili o, in mancanza, da realizzare appositamente, che possono essere utili anche per calibrare i dati satellitari. Infine, anche i dati di livellazione geometrica sono importanti per completare il quadro delle deformazioni in superficie. Al fine di poter stimare il contributo alla subsidenza dovuto dalla compattazione dei

sedimenti, si valuti l'opportunità di installare assestimetri profondi. Il numero e la posizione di tali assestimetri andranno valutati di volta in volta.

In caso di opere finalizzate ad attività di sottosuolo, con particolare riferimento a quelle di coltivazione, reiniezione e stoccaggio di idrocarburi, fare riferimento agli Indirizzi e linee guida del MiSE (2014).

In caso di progetti di impianti geotermoelettrici, a reimmissione sia parziale che totale, per l'utilizzo della risorsa geotermica a media e alta entalpia, fare riferimento alle specifiche Linee guida del MiSE (2016).

Il monitoraggio sismico e anche delle pressioni di poro verrà effettuato nei casi di opere che possono indurre o innescare eventi sismici, come nel caso di attività di sottosuolo, con particolare riferimento a quelle di coltivazione, reiniezione e stoccaggio di idrocarburi, di CO₂ e Idrogeno, o di attività geotermiche a media e alta entalpia con reiniezione parziale o totale. Per tali attività si fa sempre riferimento rispettivamente, per le prime, agli Indirizzi e linee guida del MiSE (2014) e, per le seconde, alle Linee guida del MiSE (2016).

Nelle aree soggette a rischio geochimico, i parametri descrittivi saranno selezionati in funzione del rischio individuato in fase di SIA. Nel caso della presenza di sostanze volatili si predisporranno in fase *ante operam* almeno 4 campagne di monitoraggio con cadenza trimestrale atte a misurare, a seconda del contesto: i) la concentrazione dei volatili del suolo; ii) il flusso del gas all'interfaccia suolo/atmosfera; iii) misure in aria, le cui modalità e posizionamento dipenderanno dalla natura della sostanza e dal contesto sito specifico, con particolare riferimento per esempio alle condizioni geologiche, idrogeologiche, topografiche che possono incidere sulla migrazione e l'eventuale accumulo di queste sostanze.

Nel caso della presenza di sostanze asbestiformi di origine naturale, sarà opportuno predisporre, in fase di *ante operam* campagne di mappatura sullo stato fisico delle rocce contenenti dette sostanze ed eventualmente verificare la presenza in aria delle fibre asbestiformi tramite campionamento attivo o passivo (es. utilizzo dei deposimetri).

Il monitoraggio finalizzato alla tutela del patrimonio geologico, a seconda dei casi, sarà eseguito in modo visivo e fotografico attraverso sopralluoghi periodici che valuteranno la salvaguardia delle aree da tutelare o, anche in questo caso, attraverso il controllo di parametri indiretti (geologici, idrogeologici, idraulici, ecc.) che, se alterati, potrebbero determinare una alterazione del geosito stesso.

11.1.5 Frequenza e durata dei monitoraggi

In riferimento alle pericolosità geologiche, per la frequenza e durata dei monitoraggi delle deformazioni del suolo, della sismicità e delle pressioni di poro in giacimento, si fa riferimento agli Indirizzi e linee guida del MiSE (2014) e alle Linee guida del MiSE (2016).

Per quanto concerne gli altri fenomeni di instabilità individuati, la frequenza e la durata dei monitoraggi devono essere commisurati alla frequenza di accadimento dei fattori innescanti l'instabilità, considerando anche i cambiamenti climatici. Dev'essere considerata anche la frequenza di eventuali azioni antropiche e carichi dinamici o ciclici che possano determinare variazioni significative, all'interno di terreni e unità geologiche, dello stato tensionale, delle pressioni neutre, dei parametri geotecnici nonché del comportamento idraulico, meccanico, termico e chimico nel tempo tali da avere impatti su un fenomeno di pericolosità geologica. Infine, si deve tener conto delle variazioni naturali e stagionali di fattori predisponenti e innescanti le potenziali instabilità individuate.

Nelle aree soggette a rischio geochimico, il monitoraggio delle sostanze volatili nocive sarà orientativamente articolato, in fase di *ante operam*, in quattro campagne trimestrali. Detta frequenza sarà mantenuta durante il corso d'opera. A valle del monitoraggio *ante operam*/corso d'opera sarà valutata l'opportunità di prolungare il monitoraggio in fase di esercizio, fatte salve specifiche norme sulla sicurezza degli ambienti di lavoro, se applicabili.

Per quanto concerne il patrimonio geologico qualora sia oggetto di interferenze, dovranno essere valutati monitoraggi durante il corso d'opera e in fase di *post operam*, al fine di verificare lo stato di conservazione del geosito sia sotto il profilo della sicurezza per i fruitori, sia in relazione alla tutela dell'elemento geologico in senso stretto.

11.1.6 Metodologie di riferimento/tecniche di misura

Per quanto attiene alla pericolosità geologica i riferimenti metodologici possono essere riscontrati nei seguenti documenti:

- A.G.I. – ISPRA, 2022. Progettazione degli Interventi di Mitigazione del Rischio da Frana.
- A.G.I., 2023. Raccomandazioni sul Monitoraggio Geotecnico - Misure inclinometriche.
- A.G.I., 2024. Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini Geotecniche in Sito.
- Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente della Lombardia (Volume 1 e 2) a cura di: Gregorio Mannucci e Adalberto Notarpietro, 2005. Linee guida per il controllo dei fenomeni franosi.
- ASI, 2009. COSMO-SkyMed SAR Products Handbook. <https://earth.esa.int/eogateway/documents/20142/37627/Cosmo-SkyMed-Product-Handbook.pdf>
- ASI, 2021. COSMO-SkyMed Seconda Generazione: System and Products Description. <https://earth.esa.int/eogateway/documents/20142/37627/COSMO-SkyMed-Second-Generation-Mission-Products-Description.pdf> - Standard Test Method for Determination of Thermal Conductivity of Soil and Rock by Thermal Needle Probe Procedure.
- ASTM D5092/D5092M-16, 2024. Standard Practice for Design and Installation of Groundwater Monitoring Wells.
- Decreto Ministeriale MIT 26 giugno 2014. Norme tecniche per la progettazione e la costruzione degli sbarramenti di ritenuta (dighe e traverse).
- Decreto Ministeriale MIT 14 maggio 2024, n. 94. Regolamento recante la disciplina del procedimento di approvazione dei progetti e del controllo sulla costruzione e l'esercizio degli sbarramenti di ritenuta (dighe e traverse).
- Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018, "Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni" (NTC 2018), pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale n. 42 del 20-02-2018, coordinato con le modifiche apportate dal D.M. 9 marzo 2023.
- Dei Cas L., Trigila A., Iadanza C. (eds) Linee Guida per il monitoraggio delle frane. Linee guida SNPA 2021; ISBN 978-88-448-1071-9.
- EEA, 2022. End-to-end implementation and operation of the European Ground Motion Service (EGMS). Product user manual. Version 1.6. <https://land.copernicus.eu/en/technical-library/egms-product-user-manual/@download/file>
- Ferretti, A., Monti-Guarnieri A., Prati, C., Rocca, F., Massonnet, D., 2007. InSAR Principles: Guidelines for SAR Interferometry Processing and Interpretation. ESA Publications, TM-19. ISBN 92-9092-233-8.
- ISO 18674-2:2016 Geotechnical investigation and testing — Geotechnical monitoring by field instrumentation — Part 2: Measurement of displacements along a line: Extensometers.
- ISO 18674-5:2019 Geotechnical investigation and testing — Geotechnical monitoring by field instrumentation — Part 5: Stress change measurements by total pressure cells (TPC).
- ISPRA, 65.1/2010. Interazione fra infrastrutture lineari e patrimonio geologico. Manuali e Linee guida 65.1/2010, ISBN 978-88-448-0471-8.
- ISPRA – UNEM, 30/2024. Applicazione di diversi sistemi di campionamento passivo per il monitoraggio dei gas interstiziali nei siti contaminati. Quaderni Ambiente e Società 30/2024; ISBN 978-88-448-1206-5.
- I.S.R.M., 1974. Determinazione della resistenza a taglio in laboratorio e *in situ*.
- I.S.R.M., 1979. Determinazione di: contenuto d'acqua, porosità, densità, imbibizione e proprietà relative, rigonfiamento, indici di durezza.
- I.S.R.M., 1981. Descrizione geotecnica degli ammassi rocciosi.
- I.S.R.M., 1989. Prelievo di grandi campioni e prove triassiali su rocce fratturate.
- I.S.R.M., 2005. Aspetti Geotecnici della Progettazione in Zona Sismica.

- MiSE, 2014. Indirizzi e linee guida per il monitoraggio della sismicità, delle deformazioni del suolo e delle pressioni di poro nell'ambito delle attività antropiche. https://unmig.mase.gov.it/wp-content/uploads/2018/07/85_238.pdf
- MiSE, 2016. Linee guida per l'utilizzazione della risorsa geotermica a media e alta entalpia. <https://unmig.mase.gov.it/wp-content/uploads/2016/10/linee-guida-geotermia.pdf>
- SNPA, 2018. Procedura operativa per la valutazione e l'utilizzo dei dati derivanti da misure di gas interstiziali nell'analisi di rischio dei siti contaminati. Linee Guida 17/2018. ISBN 978-88-448-0924-9.
- UNI EN ISO 18674-1:2015 Geotechnical investigation and testing - Geotechnical monitoring by field instrumentation - Part 1: General rules.
- UNI EN ISO 18674-3:2020 Indagini e prove geotecniche - Monitoraggio geotecnico con strumentazione di campo - Parte 3: Misurazione degli spostamenti lungo la linea: Inclinometri.
- UNI EN ISO 18674-4:2020 Indagini e prove geotecniche - Monitoraggio geotecnico con strumentazione di campo - Parte 4: Misure di pressione interstiziale: piezometri.
- UNI EN ISO 18674-8:2023 Indagini e prove geotecniche - Monitoraggio geotecnico con strumentazione in sito - Parte 8: Misura delle forze: Celle di carico.
- U.S. EPA (2020) Best Practices for Landfill Gas Collection System Design and Installation.

Per quanto riguarda il rischio geochimico, se le fasi *ante operam*, corso d'opera ed esercizio prevedono uno scenario *outdoor* e in fase di esercizio è prevedibile l'applicazione di protocolli ai sensi della normativa sulla sicurezza del lavoro o ai sensi di normativa nazionale/locale, detti protocolli saranno estesi anche nella fase *ante operam*. L'adozione della medesima metodologia /tecnica di misura nelle diverse fasi consente un più agevole confronto del quadro ambientale pre o post interventi e quindi la valutazione di eventuali impatti generati dall'opera sulla presenza, diffusione, migrazione dell'agente di rischio (volatile, amianto).

Se la fase *ante operam* prevede uno scenario *outdoor*, mentre le fasi corso d'opera ed esercizio prevedono uno scenario *indoor* (opera in ambiente chiuso) per queste ultime si applicheranno, qualora disponibili, le specifiche norme di sicurezza degli ambienti di lavoro *indoor*; nella fase *ante operam* saranno applicate, se disponibili, le specifiche norme di sicurezza degli ambienti di lavoro *outdoor*. Qualora queste ultime non siano disponibili si procederà con una valutazione comparativa.

Circa la presenza di amianto naturale in fase di *ante operam* si procederà ad una mappatura nell'area di intervento e nei suoi immediati dintorni, secondo le indicazioni riportate nella Linea guida SNPA 44/2023 "Linea guida per lo scavo, la movimentazione e il trasporto delle terre e rocce da scavo con amianto naturale e per i relativi criteri di monitoraggio (par. 7.1)".

In generale il monitoraggio *ante operam* potrà prevedere *soil gas survey*/camere di flusso al fine di verificare nel suolo concentrazioni anomale di gas tossici, asfissianti, infiammabili o esplosivi della cui presenza dovrà eventualmente tenersi conto nelle attività di scavo o di realizzazione di fogne, cunicoli ecc. (rif. D.Lgs. 81/2008, art. 121).

11.1.7 Valori di riferimento

Per quanto riguarda le attività in sottosuolo, in particolare per l'estrazione e l'iniezione di fluidi e gas, fare riferimento agli Indirizzi e linee guida del MiSE (2014) e alle Linee guida del MiSE (2016).

Le sostanze geogeniche sono numerose e possono comportare diversi tipi di rischio, (da quello acuto di asfissia (CO₂) e/o avvelenamento (H₂S), a quelli di esplosione (CH₄), di insorgenza tumorale (amianto, ecc.). A livello indicativo e non esaustivo e in riferimento alle sostanze che più comunemente comportano un possibile rischio geochimico si citano:

Radon

I livelli massimi di riferimento per le abitazioni e i luoghi di lavoro, espressi in termini di valore medio annuo della concentrazione di attività di radon in aria, sono:

- a. 300 Bq/m³ in termini di concentrazione media annua di attività di radon in aria per le abitazioni esistenti;
- b. 200 Bq/m³ in termini di concentrazione media annua di attività di radon in aria per abitazioni costruite dopo il 31 dicembre 2024;
- c. 300 Bq/m³ in termini di concentrazione media annua di attività di radon in aria per i luoghi di lavoro.

Non ci sono riferimenti per il flusso di Rn dal suolo.

Riferimento normativo: D.Lgs. 101/2020, art. 12 (recepisce Direttiva Euratom 2013/59)

Anidride Carbonica (CO₂)

Aria ambiente: 5.000 ppm v/v (0,5%). Misurato o calcolato in relazione ad un periodo di riferimento di otto ore, come media ponderata). Riferimento normativo: D.Lgs. 81/2008, Allegato XXXVIII. Concentrazioni in area anche comprese fra 1000 e 5000 ppm v/v hanno mostrato una riduzione significativa delle capacità cognitive complesse (Yuejie F. et al., 2023).

CO₂ (flusso dal suolo): Nessun limite normativo, ma valutazioni comparative, Valori guida da studi ISPRA/INGV/ARPA per ambienti vulcanici.

A livello locale possono essere vigenti dei riferimenti per le aree indiziate di emissione pericolosa di CO₂. A mero titolo di esempio in alcuni comuni del Lazio, in determinate aree vige l'obbligo di campagne di misure di flusso e di concentrazione di CO₂ nel suolo. Per valori di concentrazione di CO₂ < 1% il titolo edilizio è rilasciato senza specifiche prescrizioni per il rischio da CO₂ e pertanto sarà consentita la realizzazione di interrati e seminterrati; per 1% < CO₂ ≤ 2% sono imposte delle prescrizioni circa la messa in opera di adeguate tecniche costruttive per favorire l'aerazione degli edifici, per 2% < CO₂ ≤ 5%, gli edifici dovranno essere realizzati con tecnologie a pilotis e non dovranno prevedere piani interrati né seminterrati, per 5% < CO₂, l'area di sedime dell'edificio previsto sarà classificata "non idonea" (rif. Det. Reg. Lazio n. A00271 del 19.01.2012, e Det. Reg. Lazio n. G10802 del 26.09.2016).

Idrogeno solforato (H₂S)

Limite di esposizione a lungo termine (TLV-TWA) è fissato in aria ambiente a 5 ppm v/v per un'esposizione di 8 ore, mentre il limite di esposizione a breve termine (TLV-STEL) è di 10 ppm per 15 minuti. Riferimento normativo: D.Lgs. 81/2008, Allegato XXXVIII.

Amianto

Ambiente di lavoro: Il valore limite di esposizione per l'amianto è fissato a 0,1 fibre per centimetro cubo di aria (F/m³), misurato come media ponderata nel tempo di riferimento di otto ore. Riferimento normativo: D.Lgs. 81/08, Titolo IX, Capo III, Art. 254, comma 1.

Ambiente di vita outdoor: non esiste un valore di legge né soglie di sicurezza. Un'esposizione di 1000 F/m³ (misurata la SEM, 500 F/m³ con misura ottica) mostrano un rischio di mesotelioma nell'ordine di 10⁻⁴ - 10⁻⁵ ("Air Quality Guidelines for Europe" – WHO 2000).

Per l'esecuzione del campionamento e delle analisi delle fibre di amianto aerodisperse si richiama a quanto indicato nell'allegato 2b del D.M. 06/09/94, nella norma UNI EN ISO 16000-7 e nel rapporto ISTISAN 15/5. Tali norme nascono per i campionamenti e l'analisi dell'aria di ambienti interni (*indoor*) e pertanto dovranno essere eventualmente modificate per adattarle ai campionamenti e analisi di aria in ambiente esterno (*outdoor*).

Per ciò che concerne il valore di concentrazione di soglia della contaminazione (CSC), previsto dalla normativa vigente italiana in materia di bonifiche (D.Lgs. 152/2006) il limite per l'amianto per i suoli è pari è fissato a 1000 mg/kg, così come per la gestione delle terre e rocce da scavo (D.P.R.120/2017). Nelle aree agricole (D.M. Ambiente 1° marzo 2019, n. 46) la CSC di riferimento è pari a 100 mg/kg. Per le acque superficiali e sotterranee la normativa nazionale non ha ancora definito un valore limite. Alcuni studi recenti effettuati negli USA non hanno altresì evidenziato correlazione tra esposizione a fibre di amianto in acqua potabile e patologie cancerogene, con concentrazioni superiori al milione di fibre litro.

11.1.8 Bibliografia

- Alonso, E., Pinyol, N.M., 2009. Slope stability under rapid drawdown conditions. In: Italian Workshop on Landslides. "First Italian Workshop on Landslides". Napoli: 2009, p. 11-27. ISBN 978-88-89972-12-0.
- Andersson, J. C., Martin, C. D., & Stille, H., 2009. The Äspö pillar stability experiment: part II—rock mass response to coupled excavation-induced and thermal-induced stresses. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 46(5), 879-895.
- Baldermann, A., Dietzel, M., & Reinprecht, V., 2021. Chemical weathering and progressing alteration as possible controlling factors for creeping landslides. *Science of the Total Environment*, 778, 146300.
- Berilgen, M. M., 2007. Investigation of stability of slopes under drawdown conditions. *Computers and Geotechnics*, 34(2), 81-91.
- Chigira, M., & Oyama, T., 2000. Mechanism and effect of chemical weathering of sedimentary rocks. In *Developments in geotechnical engineering* (Vol. 84, pp. 267-278). Elsevier.
- Crosetto, M.; Solari, L.; Mróz, M.; Balasis-Levinsen, J.; Casagli, N.; Frei, M.; Oyen, A.; Moldestad, D.A.; Bateson, L.; Guerrieri, L.; Comerci, V.; Andersen, H.S., 2020. The Evolution of Wide-Area DInSAR: From Regional and National Services to the European Ground Motion Service. *Remote Sens.* 2020, 12, 2043. DOI: 10.3390/rs12122043
- Crosetto, M., Solari, L., Balasis-Levinsen, J., Bateson, L., Casagli, N., Frei, M., Oyen, A., Moldestad, D. A., and Mróz, M., 2021. Deformation monitoring at European scale: the Copernicus ground motion service, *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.* 2021, XLIII-B3-2021, 141–146. DOI: 10.5194/isprs-archives-XLIII-B3-2021-141-2021
- Di Donna, A., & Laloui, L., 2015. Response of soil subjected to thermal cyclic loading: experimental and constitutive study. *Engineering Geology*, 190, 65-76.
- Di Maio, C., Scaringi, G., & Vassallo, R., 2015. Residual strength and creep behaviour on the slip surface of specimens of a landslide in marine origin clay shales: influence of pore fluid composition. *Landslides*, 12, 657-667.
- Durmusoglu, E., Corapcioglu, M. Y., & Tuncay, K., 2005. Landfill settlement with decomposition and gas generation. *Journal of Environmental Engineering*, 131(9), 1311-1321.
- Georest - PredictinG EaRthquakES induced by fluid injeCTion - <https://www.georest.eu/it>.
- Hettiarachchi, C. H., Meegoda, J. N., Tavantzis, J., & Hettiaratchi, P., 2007. Numerical model to predict settlements coupled with landfill gas pressure in bioreactor landfills. *Journal of hazardous materials*, 139(3), 514-522.
- Im, K., Elsworth, D., Guglielmi, Y., & Mattioli, G. S., 2017. Geodetic imaging of thermal deformation in geothermal reservoirs-production, depletion and fault reactivation. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 338, 79-91.
- International Commission on Hydrocarbon Exploration and Seismicity in the Emilia region (ICHESE), 2014. Report on the Hydrocarbon Exploration and Seismicity in Emilia Region. 213 pp. http://mappegis.regione.emilia-romagna.it/gstatico/documenti/ICHESE/ICHESE_Report.pdf.
- ISPRA, 2014. Rapporto sullo stato delle conoscenze riguardo alle possibili relazioni tra attività antropiche e sismicità indotta/innescata in Italia.
- Ke, H., Hu, J., Chen, Y. M., Lan, J. W., Zhan, L. T., Meng, M., ... & Li, Y. C., 2022. Foam-induced high gas pressures in wet municipal solid waste landfills. *Géotechnique*, 72(10), 860-871.
- Konikow, L. F., 2013. Groundwater depletion in the United States (1900– 2008) (No. 2013-5079). US Geological Survey.
- Lan, H., Martin, C.D. & Andersson, J.C., 2013. Evolution of In Situ Rock Mass Damage Induced by Mechanical–Thermal Loading. *Rock Mech Rock Eng* 46, 153–168.
- Miščević, P., & Vlastelica, G., 2014. Impact of weathering on slope stability in soft rock mass. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 6(3), 240-250.

-
- Musso, G., Morales, E. R., Gens, A., & Castellanos, E., 2003. The role of structure in the chemically induced deformations of FEBEX bentonite. *Applied Clay Science*, 23(1-4), 229-237.
- Nastev, M., Therrien, R., Lefebvre, R., & Gélinas, P., 2001. Gas production and migration in landfills and geological materials. *Journal of contaminant hydrology*, 52(1-4), 187-211.
- Pinyol, N. M., Alvarado, M., Alonso, E. E., & Zabala, F., 2018. Thermal effects in landslide mobility. *Géotechnique*, 68(6), 528-545.
- Loria, A. F. R., & Coulibaly, J. B., 2021. Thermally induced deformation of soils: A critical overview of phenomena, challenges and opportunities. *Geomechanics for Energy and the Environment*, 25, 100193.
- Shu, S., Li, Y., Sun, Z., & Shi, J., 2022. Effect of gas pressure on municipal solid waste landfill slope stability. *Waste Management & Research*, 40(3), 323-330.
- Talukdar, P., & Dey, A., 2019. Hydraulic failures of earthen dams and embankments. *Innovative Infrastructure Solutions*, 4, 1-20.
- Thiel, R. S., 1998. Design methodology for a gas pressure relief layer below a geomembrane landfill cover to improve slope stability. *Geosynthetics international*, 5(6), 589-617.
- Vieira, A., 2024. Thermal behaviour of soils: studies and applications in current energetic and climatic contexts. In *Geotechnical Engineering Challenges to Meet Current and Emerging Needs of Society* (pp. 218-227). CRC Press.
- Wong, L. N. Y., & Liu, Z., 2025. Thermal shock in rocks: A review of mechanisms, impacts, and applications in underground engineering. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*.
- Yuejie Fan, Xiaodong Cao, Jie Zhang, Dayi Lai, Liping Pang, 2023. Short-term exposure to indoor carbon dioxide and cognitive task performance: A systematic review and meta-analysis, *Building and Environment*, Volume 237, 2023, 110331, ISSN 0360-1323, <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2023.110331>

11.1.9 Scheda tecnica

GEOLOGIA - PERICOLOSITÀ E PATRIMONIO GEOLOGICI					
Obiettivi specifici del MA	Ambito oggetto del PMA	Parametro descrittore	Localizzazione	Frequenza/Durata	Metodologia di riferimento
1. MONITORAGGIO DELLE FRANE E DI INSTABILITÀ CONNESSE ALL'INTERAZIONE SOTTOSUOLO-STRUTTURA (GRANDEZZE IDRO-MECCANICHE)	Aree instabili e/o potenzialmente instabili	Estensimetri, Clinometri, Inclinatori, Celle di carico, Fibra ottica, Piezometri a tubo aperto (in terreni/unità a permeabilità elevata), Piezometri Casagrande (permeabilità medio-bassa) Cella piezometrica (permeabilità bassa) Fessurimetri, Sensori di suzione / contenuto d'acqua Strumenti di rilievo topografico e geodetico, GPS, Monitoraggio satellitare	Aree individuate dal SIA, dove l'opera è localizzata su unità geologiche o terreni di scadenti proprietà geotecniche, caratterizzati da condizioni di instabilità, o che potrebbero diventare instabili a seguito della realizzazione del progetto. Aree dove la realizzazione del progetto, a seguito di scavi in superficie o in sotterraneo sia nella zona direttamente interessata sia nelle vicinanze, può innescare fenomeni di collasso, subsidenza o altri processi geologici, quali erosione, rotture, espansione volumetrica, cedimenti differenziali che possano generare instabilità, instabilità connesse a carichi o scarichi tensionali in condizioni non drenate e successiva fase di consolidazione, frane indotte da operazioni di rapido svasso di dighe, sifonamento, instabilità del fondo scavo per sollevamento ecc.	Frequenza e durata dei monitoraggi commisurati alla frequenza di accadimento dei fattori predisponenti e innescanti l'instabilità, considerando anche i cambiamenti climatici. Dev'essere considerata anche la frequenza di eventuali azioni antropiche e carichi dinamici o ciclici.	D.M. 17 gennaio 2018, "Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni" (NTC 2018), Dei Cas L., Trigila A., Iadanza C. (eds) Linee Guida per il monitoraggio delle frane. Linee Guida SNPA 2021 ISO 18674-2:2016 UNI EN ISO 18674-3:2020 UNI EN ISO 18674-4:2020 ISO 18674-5:2019 UNI EN ISO 18674-8:2023
2. MONITORAGGIO DELLE FRANE E DI INSTABILITÀ CONNESSE ALL'INTERAZIONE SOTTOSUOLO-STRUTTURA (GRANDEZZE TERMO-CHIMICHE)	Aree instabili e/o potenzialmente instabili	Fibra ottica, Telecamere termiche, Sensori di temperatura e flusso di calore nel sottosuolo, Conducibilità elettrica, Studi petrografici, Monitoraggio geochimico Manometri e trasduttori di pressione di gas	L'opera induce sostanziali variazioni termiche o altera i gradienti termici all'interno di suoli e unità geologiche, generando deformazioni, cambi di resistenza, rigidità e di pressioni neutre che possano generare fenomeni di pericolosità geologica (ad es. in applicazioni geotermiche, energy geostructures, stoccaggio geologico, installazione sotterranea di cavi di alta tensione, congelamento terreni, spostamenti indotti da cicli di gelo/disgelo e contrazioni/dilatazioni termiche in terreni e rocce). L'opera induce modifiche sostanziali dei chimismi delle acque interstiziali o coinvolge la generazione di gas in profondità, all'interno di suoli e unità geologiche, che possano indirettamente indurre o innescare fenomeni di pericolosità geologica (ad es. alterazione per dissoluzione chimica, fenomeni di rigonfiamento e perdita di resistenza in argille dovuti a variazione della concentrazione ionica nell'acqua interstiziale, sollevamenti/abbassamenti del terreno o di opere dovuti alla generazione di gas in profondità in discarica).	Frequenza e durata dei monitoraggi commisurati alla frequenza di accadimento dei fattori predisponenti e innescanti l'instabilità, considerando anche i cambiamenti climatici. Dev'essere considerata anche la frequenza di eventuali azioni antropiche e carichi dinamici o ciclici.	Dei Cas L., Trigila A., Iadanza C. (eds) Linee Guida per il monitoraggio delle frane. Linee Guida SNPA 2021 Linee guida del MiSE, 2016 ASTM D5334-22 ASTM D5092/D5092M-16, 2024 D.Lgs. 152/2006 ISPRA-UNEM, 2024 SNPA, 2018 U.S. EPA, 2020
3. MONITORAGGIO SUBSIDENZA AREALE E DEFORMAZIONI AREALI DEL TERRENO	Aree già affette da subsidenza o suscettibili alla subsidenza e, in	Dati InSAR, dati GNSS, dati di Livellazione geometrica, dati di assestometri profondi	Aree individuate dal SIA già affette da fenomeni di subsidenza areale e definite sulla base di mappe di subsidenza, dati InSAR, dati GNSS, campagne di Livellazione geometrica o che sono suscettibili alla	Fare riferimento agli Indirizzi e linee guida del MiSE (2014) e alle Linee guida del MiSE (2016).	Indirizzi e linee guida del MiSE (2014) e Linee guida del MiSE (2016).

GEOLOGIA - PERICOLOSITÀ E PATRIMONIO GEOLOGICI					
Obiettivi specifici del MA	Ambito oggetto del PMA	Parametro descrittore	Localizzazione	Frequenza/Durata	Metodologia di riferimento
	genere, dove è presente una successione di sedimenti non consolidati		subsidenza in relazione alla tipologia di opera prevista (in genere opere di estrazione di fluidi e gas dal sottosuolo). Aree che possono deformarsi a seguito dell'iniezione nel sottosuolo di idrocarburi, CO ₂ , Idrogeno		
4. MONITORAGGIO DELLA SISMICITÀ E DELLE PRESSIONI DI PORO	Volume circostante il luogo dove vengono svolte attività antropiche in sottosuolo, con l'obiettivo di distinguere la sismicità naturale da quella eventualmente indotta e innescata da tali attività.	Sismicità e microsismicità rilevata da una apposita rete di monitoraggio sismico e misura in continuo a fondo pozzo della pressione di poro	Aree e volumi, individuati dal SIA, oggetto di interventi che prevedono coltivazione o iniezione e stoccaggio di fluidi nel sottosuolo. Per l'estensione areale, fare riferimento agli Indirizzi e linee guida del MiSE (2014) e alle Linee guida del MiSE (2016).	Fare riferimento agli Indirizzi e linee guida del MiSE (2014) e alle Linee guida del MiSE (2016).	Indirizzi e linee guida del MiSE (2014) e Linee guida del MiSE (2016).
5. VALUTAZIONE DEL RISCHIO GEOCHIMICO	Aree con presenza di sostanze geogeniche pericolose per la salute e la vita umana (elementi, minerali, fluidi).	Analisi chimiche, mineralogiche, misura di flussi esalativi.	Zone dove il SIA ha individuato la presenza di sostanze geogeniche pericolose per la salute e la vita umana (es. amianto, ossidi d'uranio, radon, anidride carbonica, ecc.).	AO e per tutta la durata delle attività di cantiere. Eventualmente anche in fase di esercizio.	D.M. 06/09/94 ISO 14966:2002/Cor 1:2007: Ambient air – Determination of numerical concentration of inorganic fibrous particles – Scanning electron microscopy method. Coordinamento delle Regioni e delle Province autonome di Trento e Bolzano "Linee guida per le misure di concentrazione di Radon in aria nei luoghi di lavoro sotterranei" – 2003. D. Lgs. 2000, n. 241 "Attuazione della direttiva 96/29/Euratom in materia di protezione sanitaria della popolazione e dei lavoratori contro i rischi derivanti dalle radiazioni ionizzanti".
6. CONTROLLO DEL PATRIMONIO GEOLOGICO	Geositi, affioramenti geologici/paleontologici	Osservazione visiva e fotografica	Aree individuate dallo Studio di Impatto Ambientale, in cui è presente una località o un territorio di interesse geologico o geomorfologico meritevole di	Monitoraggio ante opera per determinare lo stato del geosito e periodico durante l'esecuzione	https://sinaccloud.isprambiente.it/portal/apps/sites/#/inventario-nazionale-geositi-1

GEOLOGIA - PERICOLOSITÀ E PATRIMONIO GEOLOGICI					
Obiettivi specifici del MA	Ambito oggetto del PMA	Parametro descrittore	Localizzazione	Frequenza/Durata	Metodologia di riferimento
	logici. Verifica delle modifiche e/o variazioni dello stato ambientale potenzialmente indotte dall'opera progettuale.	Misura di parametri indiretti (geologici, idrogeologici, idraulici ecc.) che, se alterati, potrebbero determinare una alterazione del geosito stesso	conservazione (Geosito) censita nell'Inventario Nazionale dei Geositi.	dei lavori per verificarne la sua salvaguardia.	

11.2 Erosione costiera

Il monitoraggio dell'erosione costiera si rende necessario ogni qualvolta ci si appresta a realizzare opere la cui collocazione e struttura interferisce con le normali dinamiche litoranee che sono attive lungo la costa.

11.2.1 Obiettivi specifici del monitoraggio ambientale

L'obiettivo è accertare che le previsioni del Proponente relative agli impatti sul budget sedimentario del tratto di costa interessato siano verificate e in quale misura. In aggiunta, se sono state previste, è possibile verificare l'efficacia di eventuali misure di mitigazione adottate dal Proponente, quali, per fare un esempio, il by pass di sedimenti intercettati dalle strutture sopraflutto.

11.2.2 Ambito oggetto del monitoraggio ambientale

11.2.2.1 Ambito normativo

Non è presente una normativa nazionale né regionale relativa all'erosione costiera.

11.2.2.2 Ambito di indagine

Il trasporto sedimentario lungo le coste provvede ad alimentare i litorali sabbiosi e avviene fondamentalmente con due modalità, parallelamente e trasversalmente alla costa. La componente parallela è generalmente quella più consistente, fondamentale nella distribuzione dei sedimenti che per lo più giungono al mare attraverso il reticolo idrografico. In questo schema essenziale, le strutture aggettanti rispetto alla linea di costa sono in grado di determinare impatti a carico dei litorali circostanti poiché possono intercettare e/o deviare il trasporto solido parallelo alla riva.

Maggiori complicazioni potrebbero individuarsi qualora le interferenze col trasporto solido si manifestassero lungo un tratto di litorale già in crisi (erosiva). In questa situazione, è fondamentale il monitoraggio *ante operam* e il preliminare studio di morfodinamica del litorale effettuato nell'ambito della caratterizzazione ambientale, poiché in tal modo è possibile individuare il trend e il tasso col quale procede l'erosione, con la successiva possibilità di individuare e valutare i due contributi, tendenza in atto e impatto dell'opera.

Come illustrato successivamente, i parametri descrittivi da utilizzarsi, profili topobatimetrici della spiaggia (emersa e sommersa) e linea di riva, sono caratteristiche del litorale normalmente indagate allo scopo di studiare il regime morfodinamico di un tratto di costa interessato dal progetto di un'opera, sin dalla fase di caratterizzazione propedeutica alla redazione del SIA.

Nell'ambito delle opere sottoposte a VIA nazionale, esempi di opere che possono interferire con la dinamica sedimentaria costiera possono essere considerati i porti, con le relative strutture, e i terminal marittimi.

11.2.3 Localizzazione delle aree di indagine e dei punti di monitoraggio

Il rilievo della posizione della linea di riva e dei profili di spiaggia deve essere effettuato su un tratto di costa la cui estensione è correlata a numerosi fattori e variabili dipendenti dalle caratteristiche geomorfologiche e di clima meteo-marino del sito di realizzazione, oltre che alle caratteristiche strutturali e alle dimensioni dell'opera.

Il Proponente, nel progettare un'opera costiera che possa potenzialmente interferire con la dinamica litoranea, dovrebbe aver già individuato e indagato, nella fase di caratterizzazione del SIA, l'estensione del litorale potenzialmente perturbato dalla realizzazione del progetto. Si ritiene pertanto che per definire l'area di indagine si faccia riferimento all'area di influenza dell'opera individuata dal SIA.

In letteratura si suggerisce di sottoporre a monitoraggio un tratto di litorale di estensione almeno pari ad un ordine di grandezza superiore a quello dell'opera (salvo evidenze diverse emerse dalla fase di caratterizzazione del SIA). Mentre infatti la presenza dell'opera è in grado di alterare in tempi brevi le dinamiche sedimentarie del tratto posto immediatamente sottoflutto (per una lunghezza che va da una a tre volte la dimensione maggiore dell'opera), in tempi più lunghi la perturbazione può propagarsi fino all'intera unità fisiografica (BeachMed, 2004).

11.2.4 Parametri descrittivi (indicatori)

Il monitoraggio del litorale sabbioso deve interessare sia la spiaggia emersa che quella sommersa, con un'estensione compresa fra il limite di retrospiaggia e/o piede della duna e la profondità di chiusura della spiaggia (così come individuata nella caratterizzazione morfodinamica), nonché la linea di riva.

Le variazioni a breve e medio termine (ossia nell'ordine di grandezza delle ore, dei giorni e dei mesi) della sola spiaggia emersa possono non essere significative dal punto di vista dell'erosione costiera.

I maggiori dettagli sulla dinamica del trasporto sedimentario e sugli effetti indotti da una sua alterazione si ottengono mediante il rilievo di profili di spiaggia nelle sue due porzioni, emersa e sommersa. I profili topobatimetrici, trasversali alla linea di riva, garantiscono una dettagliata conoscenza della morfologia di spiaggia, consentendo di individuare le variazioni, non solo di ampiezza, ma anche di andamento della superficie, e di analizzare la distribuzione dei volumi di sedimento, permettendo l'interpretazione delle variazioni della morfodinamica.

Con riferimento alla parte emersa l'equidistanza dei profili e il numero di punti rilevati lungo ciascuno di essi determinano il livello di dettaglio della superficie ricostruita. Nella seguente tabella tratta da "Linee guida nazionali per la difesa della costa dai fenomeni di erosione e dagli effetti dei cambiamenti climatici", versione 2018, sono riportate le metodologie per il rilievo della spiaggia emersa.

Tab. 11.1 – Schema riassuntivo di confronto fra metodologie per il rilievo della spiaggia emersa

Metodo	Accuratezza (cm)	Densità di rilievo	Tempistica (Km/giorno)	Note
Stazione totale	1 – 5	Sez. 50 m	3	Necessita inquadramento tramite poligonale.
GPS geodetico	3 – 5	Sez. 50 m	10	La modalità NRTK grazie all'uso di stazioni di correzione permanenti via GSM consente l'utilizzo di un solo ricevitore senza l'uso della "base" riducendo molto i tempi e i costi.
Laser scanner fisso	2 – 5	DTM 0.25 x 0.25 m	1	Solo per zone limitate. Necessita GCP rilevati con GPS.
Laser scanner da quad	10	DTM 0.25 x 0.25 m	10	Necessità spiagge accessibili.
Laser scanner da drone	5	DTM 0.25 x 0.25 m	10	Difficile corretta ripetibilità del dato. Problemi di compensazione.
Lidar da aereo	10	DTM 0.25 x 0.25 m	50	Solo per aree estese.
AUV drone - fotogrammetria	10	DTM 0.25 x 0.25 m	20	Necessità punti di appoggio (GCP).

Anche il rilievo batimetrico della spiaggia sommersa può essere effettuato con diverse metodologie, da scegliersi in base a vari elementi quali, ad es., l'estensione dell'area da monitorare. Nella seguente tabella tratta da "Linee guida nazionali per la difesa della costa dai fenomeni di erosione e dagli effetti dei cambiamenti climatici" (versione 2018), sono riportate le metodologie per il rilievo della spiaggia sommersa.

Tab 11.2 – Schema riassuntivo di confronto fra metodologie per il rilievo della spiaggia sommersa

Metodo	Accuratezza (cm)	Tempistica (Km ² /giorno)	Note
Singlebeam	10	10	Dati riferiti a sezioni distanziate 100 m.
Multibeam	10	5	Difficoltà di rilevare basse profondità. Copertura funzione della profondità.
Interferometrico	15	10	Copertura in funzione della profondità. Difficoltà calibrazione
Satellite	50	50	Bassissima precisione. Necessità punti verità. Massimo 10 m profondità. Utilizzabile nello studio delle dinamiche costiere.
AUV (Drone)	20	10	Bassa precisione. Necessità punti verità. Massimo 2/3 m profondità. Tecniche multispettrali e/o fotogrammetriche corrette da distorsione acqua.
ALB (Lidar batimetrico)	20	50	Risente della trasparenza delle acque. Non ancora disponibile stabilmente in Europa. Rileva anche la spiaggia emersa.

La posizione della linea di riva costituisce una misura di tipo indiretto delle alterazioni del trasporto sedimentario determinate dalla realizzazione di opere aggettanti in mare. Tale indicatore, pur non fornendo dati quantitativi sulle alterazioni del budget sedimentario dell'area, è in grado di evidenziare l'induzione di un processo erosivo o di ampliamento della spiaggia causato da una qualche interferenza nel flusso naturale dei sedimenti. La linea di riva può essere definita in molteplici modi ma, considerata la necessità di fornire un riferimento univoco tale da garantire l'uniformità dei rilievi eseguiti, è consigliabile che venga identificata come la linea costituita dai punti di quota ortometrica pari a 0.00 m (dove per quota ortometrica di un punto si intende la sua distanza verticale rispetto alla superficie di riferimento del geoide). Tale definizione, a differenza di altre, individua una linea indipendente dalle oscillazioni di marea e da fenomeni meteorologici.

Per tutti i parametri descrittivi citati deve essere comunque garantita precisione pari almeno a ± 20 cm.

Tab 11.3 – Schema riassuntivo di confronto delle metodologie di rilievo della linea di riva

Metodo	Precisione	Tempistica (Km/giorno)	Note
Stazione Totale	5 cm	10	Necessita inquadramento tramite poligonale.
GPS geodetico	5 cm	20	La modalità NRTK grazie all'uso di stazioni di correzione permanenti via GSM consente l'utilizzo di un solo ricevitore senza l'uso della "base" velocizzando molto i tempi e costi
Sistemi AUV (droni)	10 cm	20	Necessita punti di appoggio (GCP) e post-elaborazione. Vantaggio ottenimento di DTM della spiaggia e dei primi fondali. Estrazione della linea di riva da DTM.
GPS solo codice	30 cm	20	Necessita post-elaborazione dati con correzioni da stazioni permanenti.
Video sistemi*	50 cm	1	Solo per zone limitate e montata su edificio. Consente più riprese giornaliere.
Aerofotogrammetria tradizionale	1 m	50	Necessita punti di appoggio (GCP = ground control point) ed elaborazione fotogrammetrica digitale con correzione livelli marea e pressione atmosferica. L'interpretazione da parte dell'operatore può influenzare l'accuratezza.
Immagini satellitari	1 m	100	Convenienza solo per aree estese. Possibilità di GCP per l'aumento dell'accuratezza. Possibilità di ripresa con mare mosso e di copertura non coeva della stessa zona. Necessita post elaborazione dati per estrazione automatica della linea di riva e la correzione dei livelli marea e pressione atmosferica

*Per alcune località sono disponibili immagini reperibili ai seguenti link: <https://videomonitoraggio.isprambiente.it/>;
<http://posbemed2.infora.it/home>

11.2.5 Frequenza e durata dei monitoraggi

Come è noto, le spiagge sono entità morfologiche estremamente variabili nel tempo, essendo direttamente influenzate dal clima ondoso locale. È tuttavia riconoscibile, per i litorali sabbiosi in equilibrio, un andamento ciclico stagionale, con riduzione dell'ampiezza nelle stagioni invernali e una maggiore estensione nel periodo di prevalente calma ondosa dell'estate. È auspicabile che tale andamento sia stato individuato e definito già in fase di caratterizzazione, poiché esso costituisce la "*variabilità intrinseca del sistema*" (Beachmed, 2004), che si sovrappone agli eventuali impatti determinati dalla realizzazione dell'opera.

Le indicazioni relative alla cadenza dei monitoraggi sono finalizzate a consentire l'individuazione e la valutazione delle variazioni insite nel sistema spiaggia e legate alla stagionalità degli eventi meteo-marini (rilievi infrannuali) e l'effettivo trend di avanzamento/arretramento di medio-lungo termine che prescinde dalla stagionalità e resilienza tipica degli arenili (rilievi interannuali).

La fase del monitoraggio *ante operam*, articolata su rilievi della linea di riva eseguiti con cadenza semestrale (in estate, in un momento di calma del clima ondoso, e in inverno), e profili della spiaggia rilevati annualmente (nel periodo estivo) servirà a confermare e ad integrare le conclusioni della caratterizzazione ambientale e a fornire la fotografia esatta del litorale al momento dell'avvio dei lavori di realizzazione dell'opera. È sufficiente che questa fase si limiti alla durata di un anno, quello che precede l'effettivo avvio della realizzazione dell'opera.

Nella fase di monitoraggio in corso d'opera, articolata come quella *ante operam* (rilievi semestrali della linea di riva, annuali per quelli topografici), particolare cura dovrà essere rivolta alla verifica e alla conferma della corretta

valutazione dell'area di influenza dell'opera e delle dimensioni degli impatti indotti sul litorale, attraverso l'analisi dell'evoluzione degli indicatori rilevati. Esiste sempre la possibilità, infatti, di un'eventuale sottostima dell'erosione indotta sul litorale sottoflutto. In questo caso il Proponente, in coordinamento con le Autorità preposte, e in funzione della vulnerabilità e degli elementi esposti del tratto di litorale interessato, attua le opportune, ed eventualmente ulteriori, misure di mitigazione.

La fase *post operam*, in considerazione della intrinseca variabilità del fenomeno che si intende monitorare, è auspicabile che sia pari almeno a cinque anni. La cadenza semestrale per il rilievo della linea di riva può passare, dopo i primi tre anni, ad essere annuale, mentre il rilievo dei profili di spiaggia conserva la cadenza minima annuale per tutta la durata della fase PO.

11.2.6 Metodologie di riferimento/tecniche di misura

Non è attualmente disponibile una metodologia nazionale di riferimento; esistono unicamente linee guida elaborate a livello regionale. Le indicazioni operative provengono principalmente dalla letteratura scientifica, i cui riferimenti bibliografici sono riportati più avanti.

11.2.7 Valori di riferimento

Per la tematica oggetto della presente trattazione non sono definiti valori limite e valori standard di riferimento. Il confronto dei dati di monitoraggio si baserà, pertanto, sui valori di riferimento definiti dal Proponente nel SIA e sui dati acquisiti durante il monitoraggio *ante operam*.

11.2.8 Bibliografia

BEACHMED, 2004. Recupero ambientale e mantenimento dei litorali in erosione con l'utilizzo dei depositi sabbiosi marini. 3° quaderno tecnico (Fase B), 216 pp.

Boak E.H., Turner I.L., 2005). Shoreline Definition and Detection: A Review. Journal of Coastal Research 21/4, 688-703.

Bowman D., Pranzini E., 2007. Shoreline monitoring: review and recommendations. BEACH EROSION MONITORING - Results from BEACHMED-e / OpTIMAL Project Optimisation des Techniques Intégrées de Monitorage Appliquées aux Littoraux. Nuova Grafica Fiorentina. https://www.researchgate.net/publication/275023964_BEACH_EROSION_MONITORING.

MATTM-Regioni, 2018. Linee Guida per la Difesa della Costa dai fenomeni di Erosione e dagli effetti dei Cambiamenti climatici. Versione 2018 - Documento elaborato dal Tavolo Nazionale sull'Erosione Costiera MATTM-Regioni con il coordinamento tecnico di ISPRA, 305 pp https://www.regione.abruzzo.it/system/files/urbanistica-territorio/pianificazione-territoriale/piano-difesa-costa/08_tnec_linee-guida-erosione-costiera_2018.pdf.

Morton R.A., Leacht M.P., Paine J.G., Cardoza M.A., 1993. Monitoring Beach Changes Using GPS Surveying Techniques. Journal of Coastal Research 9/3, 702-720.

PODIS Progetto Operativo Difesa del Suolo, 2005. Difesa delle coste e salvaguardia dei litorali – Analisi delle caratteristiche meteo marine al largo e a riva e valutazione dei processi evolutivi costieri.

Regione Liguria, D.G.R. N. 1793 del 30.12.2005. Criteri generali da osservarsi nella progettazione degli interventi stagionali di ripascimento degli arenili

11.2.9 Scheda tecnica

GEOLOGIA – EROSIONE COSTIERA					
Obiettivi specifici del MA	Ambito oggetto del MA	Parametri descrittivi	Localizzazione dei monitoraggi	Frequenza/durata dei monitoraggi	Metodologie di riferimento
VALUTAZIONE DELLE ALTERAZIONI DEL TRASPORTO SOLIDO PER LA PREVENZIONE DELL'EROSIONE COSTIERA	Processi morfodinamici	Linea di riva Topobatimetria della spiaggia	Area di influenza dell'opera come da SIA	Fase AO (durata 1 anno) linea di riva con cadenza semestrale; topobatimetria con cadenza annuale Fase CO linea di riva con cadenza semestrale; topobatimetria con cadenza annuale Fase PO (durata minima 5 anni) linea di riva con cadenza semestrale i primi tre anni, successivamente annuale; topobatimetria con cadenza annuale	Non esiste ad oggi una metodologia di riferimento. Si rimanda ai riferimenti bibliografici

11.3 Morfologia del fondale marino

11.3.1 Obiettivi specifici del monitoraggio ambientale

La mappatura dei fondali marini, attraverso la produzione di cartografie tematiche ad alta risoluzione e ad elevata accuratezza permette l'analisi e l'interpretazione dei lineamenti morfologici e batimetrici dei siti o degli areali dove è prevista la realizzazione di infrastrutture, come ad esempio porti, parchi eolici, rigassificatori, gasdotti, ecc.

Tale strumento conoscitivo si rende necessario ogni qualvolta la realizzazione di un'opera comporti la movimentazione e/o sottrazione di fondale marino con possibili effetti sugli habitat associati (ricoprimento, modificazione) e sulla morfobatimetria del fondo.

Come per gli altri aspetti ambientali, l'obiettivo quindi è di avere uno strumento per la verifica delle previsioni degli impatti attesi dovuti alla realizzazione e attività dell'opera e per la loro eventuale misura.

11.3.2 Ambito oggetto del monitoraggio ambientale

11.3.2.1 Ambito normativo

Non sono presenti normative specifiche.

11.3.2.2 Ambito di indagine

La morfologia e la batimetria sono essenziali ai fini della definizione dell'assetto del fondale marino interessato dal progetto, sin dalla fase di caratterizzazione propedeutica alla redazione dello Studio di Impatto Ambientale (SIA).

La natura e l'entità dell'alterazione fisica del fondale dipendono da molteplici fattori, tra i quali l'originale assetto morfologico e batimetrico, la natura dei sedimenti, le condizioni idrodinamiche, e dalla tecnologia impiegata per la movimentazione e/o messa in opera dell'opera nonché l'eventuale presenza di ecosistemi sensibili.

Questa tipologia di indagini, oltre a consentire di stimare l'eventuale impatto, permette di verificare nel tempo il ripristino e l'entità del recupero dell'assetto morfologico del fondo, le cui tempistiche possono variare notevolmente in funzione di diversi fattori, quali ad esempio la profondità della colonna d'acqua, la profondità dello scavo, la tipologia del fondale e le condizioni idrodinamiche del sito.

La mappatura dei fondali eseguita nelle fasi *ante operam* ed esercizio unitamente a rilievi R.O.V. (*Remotely Operated Vehicle*) e a campionamenti di sedimenti, utili per la calibrazione delle facies acustiche e per l'interpretazione dei dati, consente di fare una valutazione complessiva dell'assetto morfologico del fondale.

11.3.3 Localizzazione delle aree di indagine e dei punti di monitoraggio

Nell'ambito della progettazione di un'opera e soprattutto nel corso del processo di valutazione di impatto ambientale viene definita l'estensione del fondale marino potenzialmente perturbato dalla realizzazione del progetto. Per definire l'area di indagine nelle attività di monitoraggio ambientale, pertanto, oltre a fare riferimento all'area di influenza dell'opera individuata dal SIA, si deve tener conto anche di potenziali interferenze in aree contigue, con particolare riguardo alla presenza di ecosistemi sensibili, che possono subire impatti diretti e indiretti a seguito della realizzazione dell'opera.

Nel caso di opere puntuali o areali deve essere investigata un'area di forma circolare o quadrangolare, intorno al sito dell'opera, avente una estensione variabile, sia in termini di direzione che di distanza in funzione dell'impatto atteso e della eventuale presenza di ecosistemi sensibili. L'estensione dell'area di rilievo deve inoltre essere sufficientemente ampia al fine di garantire la verifica di impatti non previsti, che possono occorrere sul fondale marino o su ecosistemi sensibili.

Nel caso di opere lineari, l'area di indagine deve estendersi lungo l'intero tracciato dell'opera e avere una larghezza adeguata alla identificazione degli impatti attesi, alla verifica di impatti non previsti ivi inclusi

eventuali fenomeni di rideposizione di sedimenti in siti contigui all'area direttamente interessata dalla movimentazione; riguardo quest'ultimo punto, si raccomanda di tenere conto anche delle condizioni idrodinamiche dell'area e degli esiti della caratterizzazione *ante operam* della colonna d'acqua.

Per opere che interessano la fascia costiera, il rilievo dovrà estendersi fino alla profondità minima di circa 3-4 m, compatibilmente con la capacità operativa dell'imbarcazione. Specifica attenzione dovrà essere posta all'area di uscita a mare dell'opera nel caso di attraversamento della linea di costa mediante tecnologia *trenchless*.

11.3.4 Parametri descrittivi (indicatori)

Il *Multibeam*, o ecoscandaglio multifascio, è utilizzato per la costruzione del modello digitale ad alta risoluzione dei fondali marini (L-3 Communications SeaBeam Instruments, 2000; Neighbors & Bradley, 2017) e permette, mediante rilievi ripetuti nel tempo e attraverso l'analisi e l'interpretazione dei dati, di verificarne l'evoluzione a breve e a lungo termine.

L'elaborazione di modelli digitali di elevazione (*Digital Elevation Models* - DEMs) ad alta risoluzione, l'analisi delle riflettività dei fondali o *backscatter* e, ove disponibile, l'analisi dei dati di riflettività della colonna d'acqua, forniscono informazioni indispensabili per una corretta analisi e interpretazione dei lineamenti morfologici e di riflettività associati a ciascuna tipologia di fondale e di habitat, nonché alla individuazione e valutazione di diverse tipologie di impatti sui fondali causati da attività antropiche.

Il rilievo eseguito mediante *Side Scan Sonar* (SSS) è utilizzato per l'acquisizione di immagini del fondo marino (sonogrammi) (Blondel, 2009; Hodges, 2010), la cui interpretazione permette di valutare la tipologia del substrato identificando la distribuzione areale dei sedimenti, eventuali affioramenti rocciosi e la presenza ed estensione di ecosistemi sensibili (quali ad esempio le fanerogame marine) oltre che identificare eventuali target antropici presenti sul fondale investigato. Il SSS, diversamente dal dato *Multibeam*, fornisce un'immagine acustica delle riflettività del fondale, ma con risoluzioni spaziali generalmente maggiori (Neighbors and Bradley, 2017).

11.3.5 Frequenza e durata dei monitoraggi

Per quanto riguarda la frequenza, i rilievi dovranno essere eseguiti una volta prima dell'inizio del cantiere (fase *ante operam*) e una volta subito dopo il termine dei lavori (fase corso d'opera). Le successive indagini, nell'ambito della fase di *post operam*, dovranno essere eseguite con frequenza triennale, nel decennio successivo alla movimentazione del fondale marino, al fine di valutare un eventuale recupero dell'assetto morfo-batimetrico.

11.3.6 Metodologie di riferimento/tecniche di misura

Le indicazioni sulle metodologie per l'esecuzione delle indagini provengono dalla buona pratica di esecuzione e restituzione dei rilievi.

In generale, i rilievi *Multibeam* e *Side Scan Sonar* dovranno garantire un'accuratezza, precisione e risoluzione dei dati idonei all'obiettivo dell'indagine e all'entità e tipologia degli impatti attesi quindi alla definizione delle eventuali modificazioni dell'assetto del fondale marino e ad alterazioni/sottrazioni di habitat.

Eventuali imprecisioni, anche se di debole entità, possono inficiare i dati registrati, determinare un disallineamento delle quote altimetriche sull'intero rilievo e, nel caso di rilievi ripetuti nel tempo, non consentire un confronto batimetrico accurato e la corretta valutazione dei cambiamenti occorsi.

Inoltre, è auspicabile che i dati geofisici siano letti e interpretati nel loro insieme e siano integrati con i dati raccolti da osservazioni dirette (ground-truth data; ad esempio, dati video e/o fotografici, campionamenti di sedimento), al fine di validare le interpretazioni dei dati acustici acquisiti.

Per il rilievo mediante *Side Scan Sonar*, al fine di ottenere un mosaico di buona qualità e risoluzione è opportuno utilizzare un range di acquisizione di 100 m o inferiore con frequenze comprese tra i 200 e 500 KHz.

Di seguito si riportano dei riferimenti relativi alle operazioni di acquisizione di dati idrografici:

-
- IHO, 2013. Manual on Hydrography, (C-13). International Hydrographic Organization (IHO), Monaco. https://www.iho.int/iho_pubs/IHO_Download.htm.
 - IHO, 2022. Edition 6.1.0. Standards for Hydrographic Survey, (IHO S-44). International Hydrographic Organization (IHO), Monaco. https://iho.int/uploads/user/pubs/standards/s-44/S-44_Edition_6.1.0.pdf.
 - Istituto Idrografico della Marina, 2023. Disciplinary technical for the realization and standardization of hydrographic surveys (I.I. 3176). https://www.marina.difesa.it/noi-siamo-la-marina/pilastro-logistico/scientifici/idrografico/Pagine/Disciplinare_tecnico.aspx.

11.3.7 Valori di riferimento

Per la tematica oggetto della presente trattazione non sono definiti valori limite e valori standard di riferimento. Il confronto dei dati di monitoraggio si baserà, pertanto, sui valori di riferimento definiti dal Proponente nel SIA e sui dati acquisiti durante il monitoraggio *ante operam*.

11.3.8 Bibliografia

Blondel P., 2009. The Handbook of Side Scan Sonar. ISBN 978-3-540-49886-5;

Hodges R. P., 2010. Underwater Acoustics. Analysis, design and performance of sonar. ISBN 978-0-470-68875-5;

L-3 Communications SeaBeam Instruments, 2000. Multibeam Sonar Theory of Operation 141 Washington Street East Walpole, MA 02032-1155. Neighbors T. & Bradley D., 2017. Applied Underwater Acoustics. ISBN 9780128112403;

Lurton, X., Lamarche, G. (Eds), 2015. Backscatter measurements by seafloor-mapping sonars. Guidelines and Recommendations. https://niwa.co.nz/static/BWSG_REPORT_MAY2015_web.pdf.

11.3.9 Scheda tecnica

GEOLOGIA – MORFOLOGIA DEL FONDALE MARINO					
Obiettivi specifici del MA	Ambito oggetto del MA	Parametri descrittivi	Localizzazione dei monitoraggi	Frequenza/durata dei monitoraggi	Metodologie di riferimento
MORFOLOGIA DEL FONDALE MARINO	Assetto morfobatimetrico	Morfologia e batimetria (DTM, mosaico della riflettività del fondale, ground-truth data)	Opere puntuali o areali: area (comprendente il sito dell'opera) di estensione variabile in funzione dell'impatto dell'opera e della eventuale presenza di ecosistemi sensibili. Opere lineari: area estesa per tutta la loro lunghezza e con larghezza tale da garantire il monitoraggio degli effetti sul fondale.	Fase AO: 1 volta; Fase CO: 1 volta al termine della realizzazione dell'opera Fase PO (durata 10 anni): frequenza triennale.	Si rimanda ai riferimenti bibliografici