
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	5
PARTE I – INDICAZIONE DI CARATTERE GENERALE	5
1 Riferimenti normativi e metodologici	5
2 Criteri per la redazione del PMA	5
3 Indicazioni operative generali	5
4 Modalità di restituzione dei dati	5
5 Figure organizzative di riferimento	5
6 Coordinamento con ulteriori strumenti di gestione ambientale	5
PARTE II – INDICAZIONI OPERATIVE SPECIFICHE	6
7 Biodiversità	6
8 Patrimonio agroalimentare	6
9 Suolo	6
10 Sedimenti	6
11 Geologia	6
12 Acque	6
13 Atmosfera	6
14 Sistema paesaggistico	7
15 Agenti fisici	8
15.1 Rumore in ambito terrestre	8
15.1.1 Obiettivi specifici del monitoraggio ambientale	8
15.1.2 Ambito oggetto del monitoraggio ambientale	9
15.1.2.1 <i>Ambito normativo</i>	9
15.1.2.2 <i>Ambito di indagine</i>	11
15.1.3 Localizzazione delle aree di indagine e dei punti di monitoraggio	11
15.1.4 Parametri descrittivi (indicatori)	13
15.1.5 Frequenza e durata dei monitoraggi	13
15.1.6 Metodologie di riferimento/tecniche di misura	14
15.1.6.1 <i>Il sistema di monitoraggio</i>	14
15.1.6.2 <i>L'operazione di misura e l'elaborazione dei dati misurati</i>	16
15.1.6.3 <i>La modellizzazione acustica</i>	17
15.1.6.4 <i>Il Tecnico Competente in Acustica</i>	19
15.1.6.5 <i>Il report di misura</i>	19
15.1.7 Monitoraggio in corso d'opera	20
15.1.8 Il monitoraggio in funzione della tipologia di opera	22
15.1.8.1 <i>Monitoraggio di un'infrastruttura di trasporto lineare (strada/ferrovia)</i>	22

15.1.8.2	<i>Monitoraggio di un'infrastruttura aeroportuale</i>	24
15.1.8.3	<i>Monitoraggio di un sito di attività produttiva</i>	27
15.1.8.4	<i>Monitoraggio di un impianto eolico</i>	29
15.1.9	Valori di riferimento	31
15.1.10	Scheda tecnica	34
15.2	Rumore subacqueo	46
15.2.1	Obiettivi specifici del monitoraggio ambientale	47
15.2.2	Ambito oggetto del monitoraggio ambientale	47
15.2.2.1	<i>Ambito normativo</i>	47
15.2.2.2	<i>Ambito di indagine</i>	47
15.2.3	Localizzazione delle aree di indagine e dei punti di monitoraggio	47
15.2.4	Parametri descrittori (indicatori)	48
15.2.5	Frequenza e durata dei monitoraggi	48
15.2.6	Metodologie di riferimento/tecniche di misura	48
15.2.7	Valori di riferimento	49
15.2.8	Bibliografia	51
15.2.9	Scheda tecnica	52
15.3	Vibrazioni in ambito terrestre	58
15.3.1	Obiettivi specifici del monitoraggio ambientale	58
15.3.2	Ambito oggetto del monitoraggio ambientale	59
15.3.2.1	<i>Ambito normativo</i>	59
15.3.2.2	<i>Ambito di indagine</i>	60
15.3.3	Localizzazione delle aree di indagine e dei punti di monitoraggio	60
15.3.4	Parametri descrittori (indicatori)	61
15.3.5	Frequenza e durata dei monitoraggi	62
15.3.6	Metodologie di riferimento/tecniche di misura	63
15.3.6.1	<i>Le norme di riferimento</i>	63
15.3.6.2	<i>La strumentazione di misura</i>	63
15.3.6.3	<i>L'installazione dei dispositivi di rilevamento</i>	64
15.3.6.4	<i>L'esecuzione delle misure, l'elaborazione e l'analisi dei dati</i>	65
15.3.6.5	<i>Altre misurazioni</i>	68
15.3.6.6	<i>Il rapporto di misura</i>	69
15.3.7	Valori di riferimento	70
15.3.8	Scheda tecnica	71
15.4	Inquinamento luminoso	77
15.4.1	Obiettivi specifici del monitoraggio ambientale	77
15.4.2	Ambito oggetto del monitoraggio ambientale	77

15.4.2.1	<i>Ambito normativo</i>	77
15.4.2.2	<i>Ambito di indagine</i>	77
15.4.3	Localizzazione delle aree di indagine e dei punti di monitoraggio	77
15.4.4	Parametri descrittivi (indicatori)	77
15.4.5	Frequenza e durata dei monitoraggi	78
15.4.6	Metodologie di riferimento/tecniche di misura	78
15.4.7	Valori di riferimento	78
15.4.8	Scheda tecnica	79
15.5	Radiazioni non ionizzanti	80
15.5.1	Obiettivi specifici del monitoraggio ambientale	80
15.5.2	Ambito oggetto del monitoraggio ambientale	80
15.5.2.1	<i>Ambito normativo</i>	80
15.5.2.2	<i>Ambito di indagine</i>	81
15.5.3	Localizzazione delle aree di indagine e dei punti di monitoraggio	82
15.5.4	Parametri descrittivi (indicatori)	82
15.5.5	Frequenza e durata dei monitoraggi	83
15.5.6	Metodologie di riferimento/tecniche di misura	83
15.5.6.1	<i>Misurazioni in banda larga alle alte frequenze</i>	84
15.5.6.2	<i>Misurazioni in banda larga alle basse frequenze</i>	87
15.5.6.3	<i>Misurazioni in banda larga tramite centraline di monitoraggio</i>	89
15.5.6.4	<i>Misurazioni in banda stretta alle alte frequenze</i>	90
15.5.6.5	<i>Calcoli previsionali nel processo di verifica del superamento dei limiti di legge</i>	93
15.5.7	Valori di riferimento	95
15.5.8	Caratteristiche del monitoraggio in funzione della tipologia di opera	96
15.5.8.1	<i>Nuovi elettrodotti</i>	96
15.5.8.2	<i>Opere connesse</i>	97
15.5.9	Scheda tecnica	99
16	Cambiamenti climatici	103

15 Agenti fisici

Gli Agenti fisici, ai fini delle presenti Linee guida, comprendono il rumore in ambito terrestre, rumore subacqueo, vibrazioni in ambito terrestre, inquinamento luminoso e radiazioni non ionizzanti.

15.1 Rumore in ambito terrestre

15.1.1 Obiettivi specifici del monitoraggio ambientale

Il monitoraggio ambientale della componente rumore si articola in tre fasi distinte e complementari: *ante operam* (AO), *corso d'opera* (CO); *post operam* (PO).

Il monitoraggio AO ha come obiettivi specifici:

- la caratterizzazione dello scenario acustico di riferimento dell'area di indagine, in modo da definire il livello sonoro preesistente e le condizioni ambientali di base;
- la stima dei contributi specifici delle sorgenti di rumore presenti nell'area di indagine;
- l'individuazione di situazioni di criticità acustica, ovvero di eventuali superamenti dei valori limite vigenti, preesistenti alla realizzazione dell'opera di progetto, in conformità alla normativa di riferimento (Legge Quadro 447/1995 e decreti attuativi).

Il monitoraggio CO ha come obiettivi specifici:

- la verifica del rispetto dei vincoli normativi vigenti relativi al controllo dell'inquinamento acustico e delle specifiche progettuali per il contenimento della rumorosità di impianti, macchinari e attrezzature di cantiere;
- l'individuazione tempestiva di eventuali criticità acustiche e l'attivazione delle necessarie azioni correttive, quali modifiche nella gestione o nella pianificazione temporale delle attività di cantiere e/o realizzazione di interventi di mitigazione temporanei;
- la valutazione dell'efficacia degli interventi di mitigazione acustica eventualmente adottati;
- la verifica del rispetto delle prescrizioni imposte nelle autorizzazioni in deroga ai limiti acustici rilasciate dai Comuni;
- la verifica del rispetto di norme¹, procedure, vincoli autorizzativi e operativi definiti in ambito di progettazione (SIA).

Il monitoraggio CO è effettuato per tutte le tipologie di cantiere:

- cantieri fissi (cantieri base/cantieri operativi);
- cantieri mobili (cantieri lungo linea e/o fronte di avanzamento lavori):
 - o per la realizzazione di opere lineari quali infrastrutture stradali/ferroviarie, elettrodotti, ecc.;
 - o cantieri di grandi dimensioni che presentano lavorazioni dislocate in aree diverse e/o programmate in tempi differenti.

Il monitoraggio CO include il controllo acustico relativo al transito dei mezzi di cantiere lungo la viabilità temporanea (piste di cantiere) e lungo la viabilità ordinaria interferita, durante tutte le fasi di cantiere e le attività connesse alla realizzazione dell'opera.²

Il monitoraggio PO ha come obiettivi specifici:

- il confronto dei descrittori/indicatori misurati nello scenario acustico di riferimento (*ante operam*) con quanto rilevato ad opera realizzata;

¹ Inclusa la verifica che le macchine e attrezzature di cantiere siano conformi alla Direttiva 2000/14/CE, recepita con D.

Lgs.262/2002, concernente l'emissione acustica ambientale delle macchine ed attrezzature destinate a funzionare all'aperto.

² È incluso anche il traffico indotto per il trasporto delle terre di scavo, dai siti di produzione ai siti di destinazione, durante l'intero processo di gestione (vedi capitolo 6.3).

- la verifica del rispetto dei valori limite individuati dalla normativa vigente per il controllo dell'inquinamento acustico;
- la valutazione dell'efficacia degli interventi di mitigazione acustica definiti in fase di progettazione;
- la verifica del rispetto di valori soglia/standard per la valutazione di eventuali effetti del rumore sugli ecosistemi e/o su singole specie, in conformità con normative ambientali specifiche (ad es. Direttiva Habitat 92/43/CEE).

L'individuazione di situazioni di criticità acustica durante il monitoraggio CO e/o PO, non previste nel SIA, comporta necessariamente:

- l'attivazione e messa in opera di ulteriori interventi di mitigazione, temporanei o permanenti, oltre a quelli previsti in fase progettuale (SIA);
- la revisione e la modifica di interventi di mitigazione originariamente pianificati, qualora risultino insufficienti a raggiungere gli obiettivi di mitigazione attesi.

15.1.2 Ambito oggetto del monitoraggio ambientale

15.1.2.1 Ambito normativo

A supporto della valutazione degli impatti sulla popolazione sono disponibili norme nazionali, standard/norme tecniche e linee guida.

Norme nazionali

- D.P.C.M 1° marzo 1991. Limiti massimi di esposizione al rumore negli ambienti abitativi e nell'ambiente esterno
- Legge 26 ottobre 1995, n. 447. Legge quadro sull'inquinamento acustico.
- D.M. 11 dicembre 1996. Applicazione del criterio differenziale per gli impianti a ciclo produttivo continuo.
- D.M. 31 ottobre 1997. Metodologia di misura del rumore aeroportuale.
- D.P.C.M. 14 novembre 1997. Determinazione dei valori limite delle sorgenti sonore.
- D.P.C.M. 5 dicembre 1997. Determinazione dei requisiti acustici passivi degli edifici.
- D.P.R. 11 dicembre 1997, n. 496 Regolamento recante norme per la riduzione dell'inquinamento acustico prodotto dagli aeromobili civili.
- D.M. 16 marzo 1998. Tecniche di rilevamento e di misurazione dell'inquinamento acustico.
- D.P.R. 18 novembre 1998, n. 459. Regolamento recante norme di esecuzione dell'articolo 11 della L. 26 ottobre 1995, n. 447, in materia di inquinamento acustico derivante da traffico ferroviario.
- D.M. 20 maggio 1999. Criteri per la progettazione dei sistemi di monitoraggio per il controllo dei livelli di inquinamento acustico in prossimità degli aeroporti nonché criteri per la classificazione degli aeroporti in relazione al livello di inquinamento acustico.
- D.P.R. 30 marzo 2004, n. 142. Disposizioni per il contenimento e la prevenzione dell'inquinamento acustico derivante dal traffico veicolare, a norma dell'articolo 11 della L. 26 ottobre 1995, n. 447.
- D.Lgs. 4 settembre 2002, n. 262. Attuazione della direttiva 2000/14/CE concernente l'emissione acustica ambientale delle macchine ed attrezzature destinate a funzionare all'aperto.
- Direttiva 2002/49/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 25 giugno 2002 relativa alla determinazione e alla gestione del rumore ambientale.
- D.lgs. 19 agosto 2005, n. 194. Attuazione della direttiva 2002/49/CE relativa alla determinazione e alla gestione del rumore ambientale.

- D.Lgs. 17 febbraio 2017, n. 42. Disposizioni in materia di armonizzazione della normativa nazionale in materia di inquinamento acustico, a norma dell'articolo 19, comma 2, lettere a), b), c), d), e), f) e h) della legge 30 ottobre 2014, n. 161.
- Direttiva (UE) 2015/996 della Commissione del 19 maggio 2015 che stabilisce metodi comuni per la determinazione del rumore a norma della Direttiva 2002/49/CE del Parlamento e del Consiglio
- Direttiva delegata (UE) 2021/1226 della Commissione del 21 dicembre 2020 che modifica, adeguandolo al progresso scientifico e tecnico, l'allegato II della direttiva 2002/49/CE del Parlamento europeo e del Consiglio per quanto riguarda i metodi comuni di determinazione del rumore.
- D.M. 1° giugno 2022 Determinazione dei criteri per la misurazione del rumore emesso dagli impianti eolici e per il contenimento del relativo inquinamento acustico.

Norme UNI³

- UNI ISO 1996-1:2016 Acustica - Descrizione, misurazione e valutazione del rumore ambientale - Parte 1: Grandezze fondamentali e metodi di valutazione.
- UNI ISO 1996-2:2010 Acustica - Descrizione, misurazione e valutazione del rumore ambientale - Parte 2: Determinazione dei livelli di rumore ambientale.
- UNI ISO/PAS 1996-3:2024 Acustica - Descrizione, misurazione e valutazione del rumore ambientale - Parte 3: Metodo oggettivo per la misurazione della rilevanza dei suoni impulsivi e per la correzione del LAeq.
- UNI ISO 9613-1:2006 Acustica - Attenuazione sonora nella propagazione all'aperto - Parte 1: Calcolo dell'assorbimento atmosferico.
- UNI ISO 9613-2:2024 Acustica - Attenuazione sonora nella propagazione all'aperto - Parte 2: Metodo tecnico progettuale per la previsione di livelli di pressione sonora all'aperto.
- UNI 10855:1999 Acustica - Misura e valutazione del contributo acustico di singole sorgenti.
- UNI 11143-1:2005 Acustica - Metodo per la stima dell'impatto e del clima acustico per tipologia di sorgenti - Parte 1: Generalità.
- UNI 11143-2:2005 Acustica - Metodo per la stima dell'impatto e del clima acustico per tipologia di sorgenti - Parte 2: Rumore stradale.
- UNI 11143-3:2005 Acustica - Metodo per la stima dell'impatto e del clima acustico per tipologia di sorgenti - Parte 3: Rumore ferroviario.
- UNI 11143-5:2005 Acustica - Metodo per la stima dell'impatto e del clima acustico per tipologia di sorgenti - Parte 5: Rumore da insediamenti produttivi (industriali e artigianali).
- UNI 11143-7:2013 Acustica - Metodo per la stima dell'impatto e del clima acustico per tipologia di sorgenti - Parte 7: Rumore degli aerogeneratori.
- UNI EN ISO 2922:2021 Acustica - Misurazione del rumore aereo generato da navi per navigazione interna e portuale.
- UNI EN ISO 14509-1:2018 Unità di piccole dimensioni - Rumore aereo generato dalle imbarcazioni da diporto a motore - Parte 1: Procedure di misurazione per la prova al passaggio.
- UNI 11022:2003 Acustica - Misurazione dell'efficacia acustica dei sistemi antirumore (insertion loss), per infrastrutture di trasporto, installati in ambiente esterno.
- UNI 11160:2025 Acustica Linee guida per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo di sistemi antirumore per infrastrutture stradali.
- UNI EN ISO 3740:2019 Acustica - Determinazione dei livelli di potenza sonora delle sorgenti di rumore - Linee guida per l'utilizzo delle norme di base.

³ Nell'elenco sono state inserite le norme UNI citate nel documento e altre utili all'attività di controllo ambientale e di monitoraggio.

- UNI/TR 11326:2009 Acustica - Valutazione dell'incertezza nelle misurazioni e nei calcoli di acustica - Parte 1: Concetti generali.
- UNI/TS 11326-2:2015 Valutazione dell'incertezza nelle misurazioni e nei calcoli di acustica - Parte 2: Confronto con valori limite di specifica.
- UNI 11728:2018 Acustica - Pianificazione e gestione del rumore di cantiere - Linee guida per il committente comprensive di istruzioni per l'appaltatore.
- UNI EN ISO 12354-3:2017 Acustica in edilizia - Valutazioni delle prestazioni acustiche di edifici a partire dalle prestazioni dei prodotti - Parte 3: Isolamento acustico dal rumore proveniente dall'esterno per via aerea.

Linee Guida⁴

- ISPRA, 99/2013. Linee guida per il monitoraggio del rumore derivante da infrastrutture stradali, Manuali e Linee guida 99/2013. ISBN 978-88-448-0632-3.
- ISPRA, 100/2013. Linee Guida per il controllo e il monitoraggio acustico ai fini delle verifiche di ottemperanza delle prescrizioni VIA. Manuali e Linee guida 100/2013. ISBN 978-88-448-0633-0.
- ISPRA, 101/2013. Linee guida per il monitoraggio del rumore derivante dai cantieri di grandi opere. Manuali e Linee guida 101/2013. ISBN 978-88-448-0634-7.
- ISPRA, 102/2013. Linee guida per la progettazione e la gestione delle reti di monitoraggio acustico aeroportuale. Manuali e Linee guida 102/2013. ISBN 978-88-448-0635-4.
- ISPRA, 103/2013. Linee guida per la valutazione e il monitoraggio dell'impatto acustico degli impianti eolici. Manuali e Linee guida 103/2013. ISBN 978-88-448-0636-1.

15.1.2.2 Ambito di indagine

Il raggiungimento degli obiettivi specifici previsti nel monitoraggio ambientale dell'inquinamento acustico, inteso come "l'introduzione di rumore nell'ambiente abitativo o nell'ambiente esterno tale da provocare fastidio o disturbo al riposo ed alle attività umane, pericolo per la salute umana, deterioramento degli ecosistemi, (...)" (art. 2L.Q.447/1995), prevede due ambiti di valutazione:

- la valutazione degli effetti/impatti sulla popolazione;
- la valutazione degli effetti/impatti su ecosistemi e/o singole specie.

15.1.3 Localizzazione delle aree di indagine e dei punti di monitoraggio

La definizione delle aree di indagine e dei punti (o stazioni) di monitoraggio acustico avviene secondo criteri tecnici e progettuali, con specifico riferimento al contenuto dello Studio di Impatto Ambientale (SIA) e alle caratteristiche territoriali dell'area di indagine.

In generale, la scelta dei punti di misura viene effettuata considerando:

- la presenza, la tipologia e la posizione dei ricettori⁵;
- la presenza, la tipologia e la localizzazione delle sorgenti di rumore, sia preesistenti sia correlate all'opera soggetta a Valutazione di Impatto Ambientale (VIA);
- le caratteristiche che influenzano le condizioni di propagazione del rumore: orografia del terreno, presenza di elementi naturali e/o artificiali schermanti, condizioni meteorologiche favorevoli alla propagazione sonora.

⁴ Non sono riportate linee guida regionali.

⁵ Per Ricettore si intende: "qualsiasi edificio adibito ad ambiente abitativo comprese le relative aree esterne di pertinenza, o ad attività lavorativa o ricreativa; aree naturalistiche vincolate, parchi pubblici ed aree esterne destinate ad attività ricreative ed allo svolgimento della vita sociale della collettività; aree territoriali edificabili già individuate dai vigenti piani regolatori generali e loro varianti generali" (definizione tratta da DPR 459/98, DPR 14272004; DM 29/11/2000).

Per l'individuazione dei punti di monitoraggio si fa riferimento allo studio acustico predisposto nel SIA, con particolare riguardo a:

- descrizione dell'opera di progetto e delle attività previste;
- descrizione e localizzazione delle altre sorgenti sonore presenti nell'area di indagine;
- individuazione e classificazione dei ricettori presenti nell'area di indagine, con i relativi valori limite applicabili;
- livelli di rumore stimati in fase previsionale sui ricettori individuati;
- descrizione degli interventi di mitigazione previsti (specifiche prestazionali, tipologia, localizzazione e dimensionamento).

Il punto di monitoraggio per l'acquisizione dei parametri acustici è generalmente del tipo *"ricettore-orientato"*, ossia ubicato in prossimità del ricettore, generalmente in facciata o in posizione rappresentativa dell'esposizione sonora.

Per ciascuna fase del monitoraggio (AO, CO, PO), la selezione dei punti di monitoraggio si basa sui seguenti criteri:

- vicinanza all'opera di progetto – (punti di monitoraggio AO e PO);
- vicinanza alle aree di cantiere e alla viabilità di servizio percorsa dal traffico indotto dalle attività di cantiere lungo i percorsi cantiere-cantiere, cava-cantiere, cantiere-discarica/sito di stoccaggio – (punti di monitoraggio AO e CO);
- presenza di aree e/o ricettori in classe I e/o aree tutelate ai sensi della normativa vigente – (punti di monitoraggio AO, CO e PO);
- presenza di ricettori per i quali sono stati progettati interventi di mitigazione acustica (punti di monitoraggio PO).

Al fine di garantire specificità e proporzionalità nel monitoraggio ambientale, la scelta dell'ubicazione delle postazioni ricettore-orientate nel PMA segue questa scala di priorità:

- ricettori sensibili (scuola, ospedale, casa di cura/riposo) e situati in aree in classe I;
- ricettori critici⁶ o potenzialmente critici⁷;
- ricettori oggetto di intervento di mitigazione;
- ricettori influenzati da altre sorgenti (sorgenti concorsuali);
- altri ricettori: aree oggetto di tutela (parchi, aree silenziose, ecc.); ricettori penalizzati o influenzati negativamente dalla presenza di un intervento di mitigazione⁸, ecc.

Per ciascun punto di monitoraggio previsto nel PMA devono essere verificate, anche mediante sopralluogo, le seguenti condizioni:

- assenza di situazioni locali (fonti sonore temporanee, riflessioni anomale, vibrazioni, ecc.) che possano alterare le misure;
- accessibilità alle aree private per consentire ai tecnici incaricati di effettuare le misure per tutta la durata e nelle fasi previste del monitoraggio;
- accessibilità degli edifici per effettuare misure all'interno degli ambienti abitativi, quando previsto;

⁶ Ricettore critico: ricettore che in fase di studio acustico previsionale presenta valori del livello sonoro superiori ai limiti normativi
⁷ Ricettore potenzialmente critico: ricettore che in fase di studio acustico previsionale presenta valori del livello sonoro prossimi ai limiti normativi.

⁸ Ricettori per i quali la presenza dell'intervento di mitigazione può determinare un peggioramento dei livelli di rumore, ad esempio edifici prospicienti a barriere che risentono dell'incremento dei livelli sonori a causa della riflessione del rumore prodotto dalla sorgente sulla superficie della barriera stessa. Tali ricettori devono essere individuati e analizzati nelle verifiche di efficacia degli interventi di mitigazione, al fine di garantire l'equità e l'efficacia complessiva dell'intervento, nonché per eventuali azioni correttive o di ottimizzazione.

- adeguatezza degli spazi per i rilievi fonometrici (presenza di terrazzi, balconi, ecc.);
- disponibilità di alimentazione elettrica, se necessaria per la strumentazione.

Nel PMA devono essere riportate la descrizione dei punti di monitoraggio e la loro localizzazione cartografica.

15.1.4 Parametri descrittivi (indicatori)

I parametri acustici rilevati nei punti di monitoraggio sono finalizzati a descrivere i livelli sonori e a verificare il rispetto dei valori limite normativi, nonché di eventuali valori soglia per la valutazione degli impatti acustici.

La scelta dei parametri acustici da misurare, nonché delle procedure e tecniche di misura è funzionale alla tipologia di descrittore/i da elaborare, ovvero alla tipologia delle sorgenti di rumore presenti nell'area di indagine.

I parametri acustici acquisiti sono elaborati per valutare gli impatti dell'opera sulla popolazione, in conformità a quanto previsto dalla L.Q.447/1995 e relativi decreti attuativi.

I parametri acustici possono essere elaborati anche per definire indicatori finalizzati alla valutazione degli effetti del rumore sugli ecosistemi e/o su singole specie.

Le misurazioni dei parametri meteorologici, effettuate in parallelo alle rilevazioni acustiche, sono necessarie per verificare la conformità e la qualità dei dati fonometrici e per valutare l'influenza delle condizioni atmosferiche (vento, temperatura, umidità, pressione) sulla propagazione del suono.

Nel PMA devono essere riportati i parametri acustici e meteorologici acquisiti dalla strumentazione di misura, necessari per la determinazione dei descrittori/indicatori acustici pertinenti.

Nei paragrafi successivi sono dettagliati i parametri acustici e meteorologici, in funzione della tipologia di sorgente di rumore.

15.1.5 Frequenza e durata dei monitoraggi

La durata delle misurazioni, funzione della tipologia della/e sorgente/i in esame, deve essere adeguata a garantire una valutazione rappresentativa e affidabile degli indicatori/descrittori acustici pertinenti.

La frequenza delle misure e i periodi di effettuazione devono essere pianificati in modo da cogliere la variabilità temporale dei livelli sonori (giornaliera, settimanale e stagionale). Tale pianificazione deve considerare tutti i fattori influenti sul clima acustico dell'area di indagine, quali le sorgenti sonore e le condizioni di propagazione.

Per il monitoraggio *ante operam* (AO) è necessario effettuare misurazioni rappresentative dei livelli sonori preesistenti nel contesto territoriale in esame/area di indagine e nelle condizioni più critiche per i ricettori presenti, al fine di definire lo scenario di riferimento acustico prima della realizzazione dell'opera.

Per il monitoraggio in corso d'opera (CO) la frequenza e la tempistica delle misurazioni sono strettamente collegate al cronoprogramma delle attività di cantiere:

- le misure devono essere pianificate in corrispondenza delle fasi di lavorazione caratterizzate da emissioni sonore significative;
- ogni qualvolta si impieghino nuovi macchinari o si avviino lavorazioni specifiche;
- in corrispondenza dell'implementazione degli interventi di mitigazione;
- al trasferimento del fronte di lavorazione, in particolare nei cantieri lineari.

Per lavorazioni di lunga durata, è opportuno programmare misurazioni periodiche con frequenza bimestrale, trimestrale o semestrale.

Il monitoraggio CO deve coprire l'intero arco temporale previsto per la realizzazione completa dell'opera.

Il monitoraggio PO deve essere eseguito all'entrata in esercizio e nelle condizioni di esercizio di progetto, durante i periodi più critici per i ricettori presenti.

Nel PMA devono essere riportati i periodi di misura, la frequenza delle misure e la durata delle misure, per ciascuna fase di monitoraggio (AO, CO, PO).

15.1.6 Metodologie di riferimento/tecniche di misura

15.1.6.1 Il sistema di monitoraggio

Il sistema di monitoraggio del rumore ambientale è generalmente composto dai seguenti elementi, strettamente interconnessi tra loro:

1. postazioni di rilevamento acustico;
2. postazione di rilevamento dei dati meteorologici;
3. centro di elaborazione dati (CED).

Il CED consiste in un'infrastruttura informatica progettata per ricevere, memorizzare ed elaborare i dati acquisiti dalle postazioni di rilevamento. Il CED può operare sia in tempo reale sia in modalità differita e può essere collocato in una sede fissa o ospitato su piattaforme cloud, garantendo maggiore scalabilità, sicurezza e accessibilità da remoto.

Le postazioni di rilevamento acustico e meteorologico possono essere connesse al CED tramite collegamenti remoti, e sono in grado di:

- trasmettere i dati in tempo reale o a intervalli programmati;
- essere configurate e controllate da remoto attraverso interfacce web o software dedicati;
- disporre di sistemi di autodiagnostica, allarmi in caso di malfunzionamenti e GPS per la geolocalizzazione;
- supportare aggiornamenti firmware da remoto e sincronizzazione temporale (ad esempio tramite NTP o GNSS).

Questi sistemi rappresentano un'evoluzione tecnologica significativa, che consente una gestione più efficiente, flessibile e automatizzata del monitoraggio acustico.

Le postazioni di rilevamento acustico si dividono in due categorie principali: postazioni fisse e postazioni mobili (o rilocabili).

Le postazioni fisse sono generalmente costituite da un box per esterni a tenuta stagna, contenente la strumentazione fonometrica (microfono, fonometro, preamplificatore, registratore, ecc.) e le apposite apparecchiature di trasmissione dati, basate su reti mobili 4G/5G, Wi-Fi o connessioni cablate, collegate permanentemente con il CED. Questo tipo di postazione necessita generalmente di alimentazione da rete elettrica, integrata da un sistema di batterie tampone per garantire la continuità della misura ed evitare la perdita dei dati in caso di interruzione della fornitura di energia, e di apposite strutture di installazione. Le postazioni fisse sono solitamente utilizzate per eseguire misure a lungo termine, in ambienti esterni soggetti a condizioni meteorologiche variabili.

Le postazioni mobili sono costituite da apparecchiature dotate di memoria sufficiente per la registrazione dei dati, con possibilità di scarico periodico. Tali postazioni prevedono l'utilizzo di un sistema di alimentazione autonomo (batterie ricaricabili, eventualmente supportate da pannelli solari), che ne consente il funzionamento in assenza del collegamento alla rete elettrica. Gli strumenti di misura vengono normalmente installati su mezzi mobili allestiti, ad esempio con pali telescopici per il posizionamento del microfono, o in valigie/box fissati su pali con microfono posizionato ad un'altezza idonea tramite sistemi telescopici. Le postazioni mobili sono solitamente utilizzate per misure di medio e/o di breve periodo (cosiddette misure "spot"), in punti variabili del territorio, e consentono di acquisire dati in assenza di alimentazione fissa o connessione permanente e/o costante.

La strumentazione di misura del rumore ambientale deve essere conforme a quanto previsto dall'art. 2 del DM 16/03/1998, ed in particolare:

- Fonometri di classe 1 secondo la norma CEI EN 61672;
- Filtri conformi alla norma CEI EN 61260;
- Microfoni conformi alla norma CEI EN 61094;
- Calibratori conformi alla norma CEI EN 60942 per la classe 1.

Per il monitoraggio del rumore aeroportuale, la strumentazione di misura deve rispettare quanto indicato dal DM 31/10/1997, in particolare il fonometro deve essere conforme alle norme EN-IEC 60651 Classe 1, EN-IEC 60804 Classe 1 e EN-IEC 61672 Tipo 1. La calibrazione è effettuata mediante sorgente campione conforme almeno alla classe 1 della norma CEI 29-14. L'intera catena fonometrica del sistema non assistito, nonché la strumentazione del sistema assistito, incluso il calibratore di livello sonoro, devono essere sottoposti a verifica di conformità alle specifiche della classe 1 indicate dalle norme CEI 29-1, 29-10 e 29-14.

Per la misura del rumore emesso dagli impianti eolici la catena fonometrica e il calibratore acustico devono essere di classe 1, preferibilmente conformi ai requisiti più restrittivi specificati nella IEC61672-1. La postazione di rilevamento acustico deve essere munita di sistema di registrazione audio con impostazione di soglia per l'individuazione di eventi sonori anomali ed eventuale registrazione audio per l'intero periodo di misura (Allegato 1 DM 1° giugno 2022).

Per quanto riguarda la calibrazione della strumentazione, nel caso delle postazioni mobili deve essere eseguita prima e dopo ogni ciclo di misura, accettando una differenza massima di $\pm 0,5$ dB(A) tra le due calibrazioni. Nel caso di postazioni fisse la verifica della calibrazione può essere eseguita in modalità "check"⁹ o in modalità "change"¹⁰.

Gli strumenti di misura devono essere provvisti di certificato di taratura e devono essere controllati almeno ogni due anni per la verifica della conformità alle specifiche tecniche; il controllo periodico deve essere eseguito presso laboratori accreditati (laboratori LAT).

I rilevamenti fonometrici devono essere eseguiti in conformità a quanto disposto al punto 7 dell'allegato B del DM 16/03/1998, ossia nelle seguenti condizioni:

- assenza di precipitazioni atmosferiche;
- assenza di nebbia e/o neve;
- velocità del vento < 5 m/s;
- microfono munito di cuffia antivento (per le misure in esterno)¹¹;
- condizioni meteo compatibili con le specifiche della classe 1 della norma IEC 61672-1.

Risulta quindi necessaria l'acquisizione, contemporaneamente ai parametri acustici, dei seguenti parametri meteorologici, utili alla validazione delle misurazioni fonometriche:

- precipitazioni atmosferiche (mm);
- direzione prevalente del vento (gradi rispetto al Nord)
- velocità del vento (m/s);
- umidità relativa dell'aria (%);
- temperatura (°C).

I requisiti minimi della strumentazione meteorologica sono:

- velocità del vento: risoluzione $\leq \pm 0,5$ m/s;
- direzione del vento: risoluzione $\leq \pm 5^\circ$;
- frequenza di campionamento della direzione e della velocità del vento tale da garantire valori medi orari e di riportare il valore della raffica (base temporale di 10' per le misure a breve termine e di 1 h per misure a lungo termine);

⁹ È utilizzato un sistema che genera in prossimità del microfono un livello noto di pressione sonora a una certa frequenza; il fonometro riporta soltanto la lettura di tale valore, senza effettuare alcuna correzione. L'operazione di tipo check può essere eseguita in modo automatico (calibrazioni di verifica automatiche o comandate con attuatore elettrostatico o sistema equivalente) o manuale (con pistonofono o sorgente sonora nota).

¹⁰ È adoperato un sistema di calibrazione secondo la norma CEI EN 60942 (con pistonofono o sorgente sonora nota) e il fonometro è impostato in modo da correggere la lettura al fine di fornire lo stesso valore che il sistema di calibrazione genera.

¹¹ Per le misure del rumore emesso dagli impianti eolici la cuffia antivento deve avere un diametro ≥ 90 mm (Allegato 1 del DM 1° giugno 2022).

- temperatura dell'aria: l'incertezza strumentale $\leq \pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- umidità relativa dell'aria: incertezza strumentale $\leq \pm 10\%$ del valore nominale.

Per l'acquisizione dei dati meteorologici durante la misura del rumore emesso dagli impianti eolici, si fa riferimento ai requisiti specifici indicati nell'Allegato 1 del DM 1° giugno 2022. La centralina meteo, sempre integrata alla postazione di rilevamento acustico, deve essere in grado di restituire i valori medi o prevalenti (moda) dei parametri rilevati su intervalli temporali sincronizzati con i dati acustici.

Nei casi di postazioni di rilevamento dei dati meteorologici integrate alle postazioni di rilevamento dei dati acustici, la posizione della sonda meteo deve essere scelta il più vicina possibile al microfono, ma sempre ad una distanza minima di 5 m da elementi che possano generare turbolenze (ad esempio alberi ad alto fusto, edifici), in una posizione tale che possa ricevere vento da tutte le direzioni e ad un'altezza dal suolo pari ad almeno 3 m.

In assenza di centraline meteo dedicate, per i parametri meteorologici è possibile utilizzare dati provenienti da stazioni ufficiali (ARPA, Protezione Civile, Aeronautica Militare), purché rappresentativi del sito di misura.

Per garantire la qualità complessiva del sistema di monitoraggio dell'inquinamento acustico sono previste due tipologie di verifica:

- verifica dei requisiti: controllo che tutti i componenti del sistema di monitoraggio siano installati correttamente e funzionino secondo le specifiche;
- verifica dell'efficienza: assicurazione che il sistema, nel suo complesso, fornisca dati attendibili.

L'attività di verifica del sistema di monitoraggio è generalmente condotta da un Auditor esterno indipendente.

Nel PMA devono essere riportate le caratteristiche tecniche della strumentazione di misura (rilievi fonometrici/rilievi meteorologici) che sarà impiegata nelle campagne di monitoraggio.

15.1.6.2 L'operazione di misura e l'elaborazione dei dati misurati

La determinazione dei descrittori (o indicatori) acustici rappresenta la fase conclusiva di un processo articolato che ha inizio con l'attività di misura in campo.

La misura può essere effettuata per integrazione continua, ossia registrando in modo ininterrotto tutti i segnali rilevati durante l'intervallo di misura, o con tecnica di campionamento, effettuando misure in intervalli temporali selezionati e rappresentativi.

Le misure si distinguono in misure a lungo termine, condotte su periodi temporali estesi e finalizzate a rappresentare l'andamento medio del rumore e a includere la massima variabilità delle condizioni di emissione e propagazione, e misure di breve periodo (a breve termine o misure "spot"), effettuate in intervalli temporalmente limitati ma significativi, utili a integrare o verificare le misurazioni a lungo termine o a monitorare eventi specifici.

Le misure a lungo termine devono essere pianificate per coprire il maggior numero possibile di condizioni rappresentative, incluse eventuali variazioni stagionali. Nel caso di fenomeni soggetti a stagionalità, si raccomanda di svolgere più sessioni distribuite nell'arco dell'anno solare, al fine di ottenere descrittori sonori che riflettano il comportamento medio e caratteristico della sorgente o del contesto ambientale monitorato.

Le misurazioni di breve periodo devono essere accuratamente selezionate per garantire che gli intervalli di misura siano rappresentativi e riproducibili rispetto alle condizioni acustiche del sito.

Al fine di garantire la rappresentatività dei dati acquisiti e minimizzare l'influenza delle variazioni meteorologiche sulla propagazione del suono, si fa riferimento alle norme tecniche UNI 9613-1, UNI 9613-2 e UNI ISO 1996-2 (Appendice A).

Prima di procedere all'elaborazione dei dati grezzi per la determinazione dei descrittori/indicatori acustici, è imprescindibile verificare la qualità delle misure acquisite tramite:

1. Controllo della calibrazione e del corretto funzionamento strumentale;
2. Controllo delle condizioni meteorologiche.

Il controllo della calibrazione assicura che solo i dati acquisiti con catene di misura correttamente calibrate (verifica effettuata prima e dopo ogni sessione di misura) vengano archiviati ed utilizzati. In caso di calibrazione con esito negativo, i dati acquisiti dopo l'ultima calibrazione positiva devono essere esclusi.

Il controllo delle condizioni meteorologiche, effettuato mediante l'analisi combinata dei livelli sonori e dei parametri meteo acquisiti da postazioni dedicate (posizionate in parallelo o in prossimità delle postazioni acustiche), garantisce la conformità dei dati alle condizioni previste dal DM 16/03/1998.

Altre elaborazioni sui dati acustici acquisiti sono: la valutazione dell'incertezza e l'individuazione di dati anomali e di sorgenti interferenti.

Per la valutazione dell'incertezza relativa ai rilievi strumentali, dovuta all'incertezza strumentale della catena di misura, ma anche alla durata temporale dei rilievi, alle caratteristiche della sorgente da caratterizzare (variabilità dei livelli sonori) ed al contesto ambientale presente al momento dei rilievi acustici (variabilità del rumore residuo, condizioni meteorologiche, condizioni del terreno, ecc.), si fa riferimento alle norme UNI ISO 1996-2, UNI/TR 11326 e UNI/TS 11326-2.

Per l'individuazione di dati anomali, l'identificazione di eccedenze, ossia di livelli sonori superiori a una soglia predefinita, permette di isolare eventi anomali da escludere dall'elaborazione finale dei descrittori.

Poiché il monitoraggio nell'ambito del PMA è finalizzato a valutare i livelli sonori prodotti dalla sorgente/opera di progetto, risulta essenziale individuare e quantificare il contributo di eventuali altre sorgenti presenti nell'area di indagine (sorgenti interferenti). Nel caso di postazioni di misura non presidiate, l'individuazione di sorgenti interferenti può avvenire attraverso l'analisi statistica della stabilità dei livelli medi, verificando se i dati rientrano in un determinato intervallo di confidenza (al 90 o 95%), e/o mediante l'analisi temporale del livello sonoro (*Time History*) per evidenziare eventuali discontinuità o variazioni anomale.

Nel PMA devono essere descritte le procedure di acquisizione ed elaborazione dei dati acquisiti dalla strumentazione di misura per la determinazione dei descrittori/indicatori acustici pertinenti.

Nei paragrafi successivi sono fornite indicazioni specifiche riguardo alle modalità di misura e di elaborazione dei dati, in funzione della tipologia di sorgente di rumore.

15.1.6.3 La modellizzazione acustica

È possibile utilizzare in modo sinergico rilievi strumentali e modellizzazione acustica per estendere la valutazione dei livelli sonori su tutta l'area di indagine e/o presso tutti i ricettori individuati. L'uso di modelli è particolarmente indicato quando l'estensione e/o la complessità dell'area di indagine rendono poco efficace o troppo onerosa una valutazione basata esclusivamente su misure strumentali.

L'applicazione dei modelli previsionali prevede le seguenti fasi:

- i. Individuazione e caratterizzazione acustica delle sorgenti sonore (sia della sorgente in esame, sia di eventuali altre sorgenti sonore presenti nell'area di indagine).
- ii. Rilievi strumentali in situ, per raccogliere dati sperimentali utili alla calibrazione e validazione del modello.
- iii. Modellizzazione delle sorgenti.
- iv. Modellizzazione dell'ambiente (realizzazione del modello digitale del terreno e degli elementi naturali e artificiali presenti).
- v. Calibrazione del modello di calcolo e validazione dei risultati.
- vi. Calcolo dei livelli di rumore nei punti di interesse e/o produzione di mappa acustica in pianta, in sezione e/o in facciata, con eventuale stima dell'incertezza complessiva del modello di calcolo.

Nel caso di un'infrastruttura di trasporto lineare (strada/ferrovia), il primo passo della modellizzazione è la caratterizzazione acustica della sorgente oggetto di monitoraggio, attraverso l'individuazione di tratti omogenei per caratteristiche strutturali e di traffico.

Per un'infrastruttura di trasporto stradale, un tratto omogeneo presenta le caratteristiche seguenti:

- variazioni limitate di traffico, velocità media dei veicoli e percentuale dei veicoli pesanti;

- pendenza sostanzialmente costante;
- pavimentazione uniforme;
- ambiente di propagazione con caratteristiche uniformi.

Per ogni tratto omogeneo di infrastruttura stradale si raccolgono le seguenti informazioni:

- sezione stradale: numero e larghezza delle corsie (presenza di corsie laterali di emergenza, spartitraffico, ecc.);
- tipologia di tracciato stradale (viadotto, rilevato, a raso, in trincea, in galleria);
- Pendenza stradale;
- tipo di pavimentazione;
- tracciato planimetrico ed altimetrico;
- dati di traffico, se possibile con dettaglio orario, e comunque distinti tra periodo diurno e periodo notturno, tipologia di veicoli (veicoli leggeri/pesanti), velocità di transito media per tipologia;
- presenza di elementi singolari (viadotti, imbocchi di gallerie, ecc.).

Per un'infrastruttura di trasporto ferroviario, un tratto omogeneo presenta le seguenti caratteristiche:

- variazioni contenute di traffico, di tipologia e velocità media dei convogli;
- numero binari/direzione di marcia;
- tipologia di armamento.

Per ogni tratto omogeneo di infrastruttura ferroviaria si raccolgono le seguenti informazioni:

- caratteristiche geometriche della sezione ferroviaria: larghezza complessiva del corpo ferroviario, comprensivo delle banchine e delle aree spartitraffico;
- tipologia del tracciato (viadotto, rilevato, a raso, in trincea, in galleria);
- tracciato planimetrico e altimetrico;
- tipologia di armamento;
- rugosità dei binari;
- dati di traffico, nei due periodi di riferimento temporale (diurno/notturno): numero dei convogli per tipologia, lunghezza dei convogli e velocità media per tipologia;
- presenza di elementi singolari (viadotti, imbocchi di gallerie, giunti, scambi), che influenzano l'emissione di particolari componenti sonore (impulsive, a bassa frequenza o ad alta frequenza).

Generalmente per la caratterizzazione acustica di una sorgente sonora sono necessari specifici rilievi strumentali in opportuni punti di monitoraggio del tipo sorgente-orientati. La postazione sorgente-orientata è collocata in prossimità della sorgente di interesse ed è funzionale alla definizione dell'emissione sonora (e della potenza sonora) della sorgente specifica. Per un elenco di documenti contenenti procedure di calcolo dei livelli di potenza sonora e dei livelli di pressione sonora, si rimanda alla norma UNI 11143-1.

Fase successiva è la realizzazione del modello digitale del terreno (DTM), utilizzando i migliori dati disponibili (mappe, dati vettoriali, ecc.), eventualmente importando direttamente l'ambiente in 3D nei formati di interscambio dati più comuni (dxf, shp, kml), in modo da ottenere una rappresentazione precisa del territorio in cui è inserita la sorgente di interesse dal punto di vista topografico, morfologico e degli elementi naturali ed artificiali presenti.

Alla fase di importazione e modellizzazione del terreno segue la definizione delle caratteristiche di assorbimento acustico di ciascun elemento. Ogni elemento presente nell'area di indagine viene quindi univocamente individuato dalla sua posizione nello spazio e dalle sue caratteristiche geometriche ed acustiche.

L'uso corretto dei modelli previsionali prevede che siano calibrati (tarati), al fine di poter estendere con ragionevole affidabilità, i risultati delle misurazioni e quindi del modello sull'intera area di indagine. La calibrazione/taratura del modello prevede il confronto tra i dati misurati e quelli calcolati in punti di

controllo/verifica distribuiti nell'area. Il numero e la posizione dei punti di controllo/verifica dipendono dall'estensione della sorgente, dalla presenza di sorgenti concorsuali, dalle caratteristiche morfologiche del territorio in cui è inserita la sorgente stessa, ovvero dal grado di accuratezza che si intende ottenere nella modellizzazione dei livelli acustici.

Ad esempio, per ogni tratto omogeneo di infrastruttura di trasposto (strada/ferrovia) deve essere individuato almeno un punto di riferimento per la caratterizzazione della potenza sonora e uno o più punti di controllo - anche al ricettore - per la verifica della correttezza del modello. La procedura consiste nel modificare i parametri significativi per minimizzare le differenze tra dati misurati e calcolati, come descritto nell'appendice E della norma UNI 11143-1.

L'incertezza dei risultati della modellizzazione acustica può derivare da errori nella caratterizzazione delle sorgenti, approssimazioni nel modello topografico, condizioni meteorologiche non perfettamente rappresentate o elementi ambientali non modellati con precisione. Al fine della valutazione dell'incertezza della modellizzazione si fa riferimento alla norma UNI 11143-1.

Nel PMA deve essere esplicitato il ricorso alla modellizzazione acustica, in affiancamento ai rilievi strumentali, come strumento per la valutazione dei livelli sonori sull'intera area di indagine.

I report devono contenere:

- *software e algoritmi di modellizzazione* utilizzati, coerenti con la tipologia di sorgente e con la normativa di riferimento;
- descrizione dei dati di *input*, delle procedure di caratterizzazione delle sorgenti, della modellizzazione del terreno, della calibrazione e verifica del modello;
- dati di *output* in formato tabellare, con livelli sonori calcolati su punti/ricettori rappresentativi;
- mappe di rumore su base cartografica in scala adeguata;
- eventuali valutazioni dell'incertezza associate ai risultati, conformemente alla norma UNI 11143-1.

15.1.6.4 Il Tecnico Competente in Acustica

Il monitoraggio del rumore ambientale, inteso come acquisizione ed elaborazione dei parametri acustici per la definizione dei descrittori/indicatori previsti dalla L. Q. 447/1995 e relativi decreti attuativi, deve essere effettuato da un Tecnico Competente in Acustica Ambientale (art. 2, comma 6, L.Q. 447/1995), iscritto nell'Elenco Nazionale dei Tecnici Competenti, di cui all'art. 21, comma 1 del D.Lgs. 42/2017.

15.1.6.5 Il report di misura

Di ogni acquisizione strumentale, oltre a quanto già indicato nella parte generale delle Linee Guida, è opportuno riportare le seguenti informazioni:

1. distanza del microfono dalla superficie riflettente;
2. altezza del microfono sul piano campagna;
3. distanza del microfono dalla sorgente;
4. catena di misura utilizzata;
5. data inizio delle misure;
6. tipo di calibrazione (automatica/manuale) e modalità di calibrazione (*change/check*);
7. posizione della postazione di rilevamento dei dati meteorologici (coordinate geografiche ed eventuale georeferenziazione su mappa);
8. altezza dell'anemometro sul piano campagna;
9. nominativo del tecnico competente in acustica;
10. criteri e modalità di acquisizione dei dati;
11. criteri e modalità di elaborazione dei dati;

-
12. risultati ottenuti;
 13. valutazione dell'incertezza della misura;
 14. valutazione dei risultati e confronto con i valori limite;
 15. certificati di taratura della strumentazione utilizzata.

15.1.7 Monitoraggio in corso d'opera

Il monitoraggio acustico in corso d'opera (attività di cantiere) ha l'obiettivo di verificare il rispetto dei limiti normativi di immissione sonora, caratterizzare le sorgenti di rumore e valutare l'efficacia degli eventuali interventi di mitigazione acustica previsti.

La progettazione/programmazione del monitoraggio CO prevede due tipologie di verifiche:

1. *verifiche acustiche*: monitoraggio del rumore ambientale e delle emissioni specifiche del cantiere;
2. *verifiche non acustiche*: controlli documentali, gestionali e procedurali.

La progettazione/programmazione delle verifiche acustiche deve essere basata su una conoscenza dettagliata delle attività di cantiere. È quindi preceduta da un adeguato studio acustico che includa almeno le seguenti informazioni:

1. tipologia, numero e caratteristiche acustiche dei macchinari impiegati;
2. scenari e fasi operative, con specifica dei mezzi e delle lavorazioni previste in ciascuna fase;
3. stima dei livelli sonori attesi ai ricettori sensibili per ciascuna fase;
4. misure di mitigazione previste (barriere temporanee, ecc.).

Tale studio acustico, per gli elementi di dettaglio che richiede, è elaborato generalmente nella fase di progettazione esecutiva dei cantieri.

Si segnala infatti che nella fase di progettazione preliminare, il Piano di Monitoraggio Acustico (PMA) può non disporre del dettaglio sufficiente per definire esattamente punti, frequenze e modalità di misura. In tal caso, il PMA deve essere impostato in modo flessibile e adattabile all'evoluzione delle attività di cantiere.

Il rumore prodotto da un cantiere è il risultato di una combinazione di sorgenti sonore, tra cui:

- macchinari operativi (escavatori, perforatrici, betoniere, ecc.);
- operazioni logistiche (carico/scarico materiali, trasporto interno);
- sorgenti fisse a supporto del cantiere (gruppi elettrogeni, pompe, ecc.);
- traffico veicolare di mezzi pesanti sulle piste di cantiere o sulle infrastrutture viarie ordinarie¹²

I descrittori acustici per valutare gli impatti di un'attività di cantiere sono:

- LAeq, valutato nei due periodi di riferimento TR, diurno e notturno, come da definizione dell'Allegato A del DM 16/3/1998;
- LAeq, valutato sul tempo di misura TM, come da definizione dell'Allegato A del DM 16/3/1998.

La normativa nazionale individua le tecniche di misura e di elaborazione dei parametri acustici ai fini della determinazione dei descrittori specifici all'Allegato B del DM 16/3/1998.

Per il rumore da transito di mezzi pesanti in ingresso/uscita dal cantiere, si rimanda a quanto trattato nei paragrafi relativi al monitoraggio delle infrastrutture lineari.

Nella progettazione delle verifiche acustiche devono essere specificati almeno i seguenti elementi:

1. tipologia di misurazioni (in continuo o a campionamento);

¹² È incluso anche il traffico indotto per il trasporto delle terre di scavo, dai siti di produzione ai siti di destinazione, durante l'intero processo di gestione (vedi capitolo 6.3).

2. metodo per scorporare il rumore del cantiere dal rumore prodotto dalle sorgenti interferenti (es. strade, ferrovie, ecc.);
3. postazioni di monitoraggio: tipologia di postazione (fissa/mobile), localizzazione dei punti di monitoraggio, tipologia di strumentazione, ecc.;
4. parametri acustici da misurare;
5. frequenza delle misure.

Gli obiettivi delle verifiche acustiche sono:

- Verifica delle condizioni di massimo impatto acustico, da effettuarsi durante le lavorazioni più rumorose e presso i ricettori più esposti. (variabili in base allo scenario di lavorazione);
- Valutazione dell'emissione sonora esclusiva del cantiere, necessaria per l'attribuzione delle responsabilità e per l'attivazione di eventuali misure correttive.

La valutazione dell'emissione sonora del cantiere risulta necessaria nei casi in cui:

- i ricettori più impattati si trovano all'interno delle fasce di pertinenza di infrastrutture di trasporto: per verificare il rispetto dei limiti di zona (DPCM 14/11/97 art 3 comma 2 e 3), il livello di rumore delle infrastrutture di trasporto non deve essere sommato a quello del cantiere;
- è rilasciata un'autorizzazione in deroga ai limiti normativi (come previsto dall'art 6, comma 1, lettera f) della Legge Quadro n. 447/95): generalmente i limiti massimi prescritti con la deroga si riferiscono solo ai livelli sonori prodotti dall'attività di cantiere.

Le procedure utili per separare il rumore delle attività del cantiere da quello delle altre sorgenti presenti nel sito di misura sono individuate nella norma UNI 10855.

I parametri acustici rilevati dall'attività di monitoraggio sono: LAeq, LAF, LAFmax, LAFmin, LAImin, LASmin, con analisi spettrale in 1/3 d'ottava. Sono acquisiti anche i livelli percentili L10, L50, L90, al fine di caratterizzare la sorgente sonora esaminata.

In sintesi, l'elaborazione dei parametri acustici misurati prevede:

1. eliminazione dei dati acquisiti in condizioni meteo non conformi;
2. eliminazione dei livelli sonori attribuibili ad eventi anomali e/o accidentali;
3. scorporo dei livelli attribuiti a sorgenti interferenti;
4. calcolo dei descrittori acustici;
5. identificazione degli eventi sonori impulsivi, componenti tonali di rumore, componenti spettrali in bassa frequenza, rumore a tempo parziale;
6. eventuale correzione dei livelli di rumore misurati con l'applicazione dei fattori correttivi KI, KT e KB (come indicato nell'Allegato A, punto 17 del DM 16/03/1998);
7. confronto con i valori limite pertinenti.

La progettazione delle verifiche non acustiche riguarda prescrizioni operative, gestionali, tecniche e amministrative, previste da normative (ad esempio uso di macchine e attrezzature di cantiere conformi alla Direttiva 2000/14/CE), e/o da autorizzazioni (ad esempio nelle deroghe comunali al superamento dei limiti) e/o definiti in ambito di progettazione (SIA).

Nella progettazione delle verifiche non acustiche devono essere definiti i seguenti elementi:

1. tipologia delle prescrizioni da verificare (limiti su orari, tipologie di macchine, modalità operative, ecc.);
2. modalità di verifica: sopralluoghi, videoregistrazioni, raccolta di documentazione tecnica, registrazioni delle attività di cantiere, ecc.;
3. frequenza dei controlli: da stabilire sulla base della criticità e della variabilità delle lavorazioni.

15.1.8 Il monitoraggio in funzione della tipologia di opera

15.1.8.1 Monitoraggio di un'infrastruttura di trasporto lineare (strada/ferrovia)

La normativa nazionale vigente stabilisce le tecniche di misura e di elaborazione dei parametri acustici ai fini della determinazione dei descrittori acustici, come definiti nell'Allegato C del D.M. 16/03/1998, in attuazione della Legge Quadro sull'inquinamento acustico n. 447/1995. In particolare, si fa riferimento:

- per il rumore stradale, all'Allegato C, punto 2;
- per il rumore ferroviario, all'Allegato C, punto 1.

I descrittori acustici impiegati per valutare gli impatti sulla popolazione di un'infrastruttura di trasporto lineare (strada/ferrovia) sono:

- per le infrastrutture stradali, LAeq, riferito ai periodi diurno e notturno, calcolato su base settimanale;
- per le infrastrutture ferroviarie, LAeq, riferito ai periodi diurno e notturno, calcolato su un periodo rappresentativo di 24 ore.

Il monitoraggio acustico di un'infrastruttura di trasporto lineare può essere associato al rilevamento contemporaneo dei flussi di traffico, al fine di correlare i livelli sonori con gli effettivi transiti durante il tempo di misura. Questo approccio è utile anche per l'identificazione di eventi anomali e per la validazione dei modelli previsionali.

Esistono diverse soluzioni per il conteggio, la classificazione e il monitoraggio del traffico, che variano in complessità, precisione e intrusività:

- Conteggio manuale (utilizzato in campagne a breve termine, con operatore, in giorni e orari rappresentativi);
- Sistemi intrusivi, come le spire elettromagnetiche annegate nell'asfalto, eventualmente abbinate a sensori piezoelettrici per la pesatura dinamica;
- Sistemi non intrusivi, come i sensori radar, le telecamere intelligenti con software di classificazione automatica, o dispositivi a tecnologia combinata (radar doppler, ultrasuoni, infrarossi) montati su strutture sopraelevate (es. portali o pali);
- Soluzioni autonome a batteria, anche con alimentazione fotovoltaica, particolarmente adatte per monitoraggi prolungati in contesti privi di infrastrutture fisse.

La scelta della tipologia di sistema da utilizzare deve essere correlata alla tipologia di infrastruttura da monitorare e al tipo di misura (per integrazione continua a lungo termine/misura *spot*), tenendo conto che il grado di accuratezza dei dispositivi dipende dal principio fisico utilizzato dal sistema, dalla corretta installazione dei sensori, dalle condizioni meteorologiche e di traffico.

L'architettura di un sistema di rilevamento del traffico, ad eccezione del conteggio manuale, prevede in genere:

- sistemi di rilevamento dati (sensori di varie tipologie).
- dispositivi di acquisizione e memorizzazione dati;
- cablaggi (alimentazione e dati), oppure soluzioni *wireless*;
- alimentazione elettrica (rete o autonoma);
- centro di supervisione e controllo;

Per le infrastrutture di trasporto stradali, il set minimo di dati da rilevare è:

- flusso veicolare con dettaglio orario, al fine di poter individuare il numero dei veicoli complessivi su diversi periodi della giornata (diurno, serale, notturno) o sui periodi temporali di riferimento (06:00 – 22:00; 22:00-06:00), generalmente distinguendo per tipologia di veicoli (veicoli leggeri/veicoli pesanti) e per categoria;
- velocità media dei transiti per tipologia di veicoli.

In caso di infrastrutture multi-corsia, è spesso utile la disaggregazione dei flussi per senso di marcia, specialmente quando i flussi sono asimmetrici.

Per le infrastrutture di trasporto ferroviario il set minimo di dati da rilevare è:

- numero dei convogli, suddiviso per tipologia (merci, passeggeri, alta velocità, ecc.), con indicazione della lunghezza e riferito ai periodi temporali (diurno/notturno);
- velocità media dei transiti per tipologia di convogli.

Nelle postazioni ricettore-orientate, al fine della valutazione dei descrittori acustici per il confronto con i valori limite, il microfono è posizionato ad un'altezza pari a 4 m dal suolo e ad 1 m di distanza dalla facciata dell'edificio più esposta ai livelli sonori; altezze superiori sono ammesse se, sulla base dell'esame delle caratteristiche del sito (ad esempio, edifici o tratti di strada sopraelevati), risulta opportuno valutare i livelli di rumore a quote diverse. In assenza di edifici, o nel caso di edifici di altezza inferiore a 4 m, il microfono è posizionato all'interno dell'area identificata come ricettore, ad 1,5 m dal piano campagna, altezza assunta come riferimento standard per l'orecchio umano, nelle posizioni più esposte al rumore prodotto dall'infrastruttura in oggetto potenzialmente occupate dagli individui in maniera prolungata.

Nelle postazioni sorgente-orientate e nelle postazioni punto di controllo/verifica non individuate in facciata ai ricettori, utilizzate principalmente ai fini della modellizzazione acustica rispettivamente per caratterizzare la sorgente e per validare il modello di calcolo, la scelta della posizione del microfono dipende dall'altezza relativa tra punto di misura e sorgente monitorata. In generale, si rileva che posizioni del microfono più basse (<3 m) risentono maggiormente della presenza di condizioni locali particolari (riflessioni, ostacoli, vegetazione), quindi più facilmente possono essere affette da anomalie e variabilità; pertanto, sono da privilegiarsi posizioni di misura con altezza superiore ai 3 m dal suolo per la maggiore riproducibilità e rappresentatività del dato fornito.

Le misurazioni in una postazione ricettore-orientata sono normalmente misure di lungo termine, generalmente eseguite per integrazione continua.

Le misurazioni in una postazione sorgente-orientata possono essere di medio-breve termine, con tempi di misura, comunque, non inferiori ad un'ora.

Infrastruttura stradale

Il parametro acustico fondamentale rilevato dal monitoraggio è il LAeq (acquisito con costante temporale Fast oppure come "short LAeq"); da tale parametro si ricava il LAeq orario (LAeqh).

Sono acquisiti anche altri parametri acustici, quali i livelli statistici (principalmente L10, L50, L90), LAF, LAFMax, lo spettro 1/3 ottava, la time-history.

In sintesi, l'elaborazione dei parametri acustici misurati prevede:

1. eliminazione dei dati acquisiti in condizioni meteo non conformi;
2. stima dell'incertezza associata alla variabilità oraria dei livelli e valutazioni delle eccedenze rispetto ad una soglia predeterminata (stabilite in base a valutazioni statistiche, es. valori di sogli su Lmax o deviazione standard, oppure in base a esperienze pregresse/sito specifiche), per l'individuazione di eventi anomali e/o sorgenti interferenti;
3. eliminazione dei livelli sonori attribuibili ad eventi anomali e/o accidentali;
4. calcolo, a partire dal LAeq rilevato, dei livelli sonori orari (LAeqh, Lmax, Lmin, L1, L10, L50, L90, L95, L99);
5. calcolo, a partire dai dati di LAeqh, dei livelli sonori nei periodi di riferimento diurno e notturno;
6. calcolo dei descrittori settimanali e confronto con i limiti normativi.

Infrastruttura ferroviaria

I parametri acustici rilevati dal monitoraggio sono: LAeq, LAE (SEL).

Sono acquisiti anche altri parametri acustici, quali i livelli statistici (principalmente L10, L50, L90), LAF, LAFMax, lo spettro 1/3 ottava, la time-history.

In sintesi, l'elaborazione dei parametri acustici misurati prevede:

1. eliminazione dei dati acquisiti in condizioni meteo non conformi;
2. stima dell'incertezza associata alla variabilità oraria dei livelli e valutazioni delle eccedenze rispetto ad una soglia predeterminata (stabilite in base a valutazioni statistiche, es. valori di sogli su Lmax o deviazione standard, oppure in base a esperienze pregresse/sito specifiche), per l'individuazione di eventi anomali e/o sorgenti interferenti;
3. eliminazione dei livelli sonori attribuibili ad eventi anomali e/o accidentali;
4. calcolo dei LAE (SEL) dai livelli sonori rilevati, nei due periodi di riferimento;
5. calcolo del LAeq, nei periodi di riferimento diurno e notturno, sulle 24 h, e confronto con i limiti normativi.

15.1.8.2 Monitoraggio di un'infrastruttura aeroportuale

La normativa nazionale definisce le procedure per la determinazione del livello di valutazione del rumore aeroportuale (LVA) all'Allegato A del DM 31/10/1997 e la strumentazione e le modalità di misura del rumore aeroportuale all'Allegato B del DM 31/10/1997. Il DM 20/05/1999 fornisce i criteri per la progettazione del sistema di monitoraggio dei livelli di inquinamento acustico in prossimità degli aeroporti.

I descrittori acustici per valutare gli impatti del rumore aeroportuale sono:

- il Livello di Valutazione del Rumore Aeroportuale, LVA, calcolato su base annuale, come da DM 31/10/1997;
- il LAeq, valutato sui due periodi di riferimento (diurno e notturno), all'esterno dell'intorno aeroportuale¹³.

Nel contesto del monitoraggio aeroportuale si distinguono due tipologie di stazioni di misura:

1. Stazioni di tipo M: dedicate al monitoraggio specifico del rumore aeronautico e finalizzate alla valutazione del descrittore LVA;
2. Stazioni di tipo A: posizionate generalmente all'esterno dell'intorno aeroportuale, destinate alla misura del rumore ambientale complessivo mediante il parametro LAeq, nei periodi di riferimento diurno e notturno.

La scelta del numero e della posizione delle stazioni di tipo M, sufficientemente numerose da coprire l'intorno aeroportuale, dipende da vari fattori:

- la presenza di ricettori sensibili (scuole, ospedali, case di cura e/o riposo);
- la presenza di ricettori abitativi, con priorità per quelli situate in zona B e, secondariamente, in zona A;
- le rotte di decollo e atterraggio degli aeromobili.

Per garantire una valutazione accurata del LVA, le stazioni di tipo M sono preferibilmente ubicate lungo le traiettorie di sorvolo degli aeromobili (decollo e atterraggio), individuate sulla base delle rotte nominali pubblicate nell'AIP¹⁴ Italia.

Analogamente, la scelta delle stazioni di tipo A considera la presenza di ricettori sensibili e di ricettori potenzialmente critici al di fuori dell'intorno aeroportuale, con riferimento all'impronta acustica elaborata nel documento di Studio di Impatto Ambientale (SIA).

Le stazioni di misura destinate alla valutazione del rumore aeronautico devono rispettare i seguenti requisiti tecnici:

1. La superficie su cui è posizionata la stazione di misura deve essere una solida e continua, con un coefficiente di assorbimento acustico (α) inferiore a 0,3; qualora non fosse possibile, devono essere installati materiali riflettenti adeguati;

¹³ "Territorio circostante l'aeroporto, il cui stato dell'ambiente è influenzato dalle attività aeroportuali, corrispondente all'area in cui il descrittore di cui all'allegato «A», punto 1, del presente decreto (LVA) assume valori superiori a 60 dB(A)" (art. 2 DM 31/10/1997).

¹⁴ Aeronautical Information Publication.

2. Tra la traiettoria di volo ipotetica (pubblicata in AIP) e la stazione di misura non devono essere presenti ostacoli tali da creare fenomeni di diffrazione che modifichino il percorso diretto dei raggi acustici, né devono sussistere condizioni di riverberazione tali da alterare il livello di pressione sonora dell'onda direttamente incidente sul microfono;
3. La distanza della stazione di misura dall'edificio più vicino deve essere almeno pari al doppio dell'altezza dell'edificio; in caso non sia possibile, è ammessa l'installazione della stazione sul tetto dell'edificio, in modo da rendere la condizione verificata;
4. L'altezza del microfono deve essere pari ad almeno 3 m dal piano di campagna, preferibilmente compresa tra i 6 e i 10 m;
5. Nel caso in cui le condizioni locali suggeriscano una differente collocazione, possono essere valutate soluzioni che comprendano anche l'installazione del microfono su tetti o terrazzi; in tal caso è necessario valutare il livello di incertezza associato a tale collocazione.

Il microfono utilizzato per le misure di rumore aeronautico è del tipo a campo libero, con una sensibilità superiore a 30mV/Pa, orientato verso lo zenit, e senza applicazione di correzioni per incidenze angolari casuali.

Per quanto riguarda i parametri da acquisire, essi variano in funzione della tipologia di stazione (M o A), ma generalmente includono quanto riportato nella figura seguente:

Fig. 15.1 – Parametri da acquisire in funzione della tipologia di stazione di misura

Parametro		Tipo di stazione	
		A – monitoraggio ambientale	M – monitoraggio del rumore aeroportuale
Dati identificativi dell'evento	Data e ora di inizio dell'evento	⊕	☑
	Data e ora del massimo L _{AF} dell'evento	⊕	☑
	Durata in secondi	⊕	☑
Parametri acustici del fonometro	SEL	≈	☑
	SEL - 10	≈	⊕
	L _{AF} Max	☑	☑
	L _{Aeq}	☑	☑
	Time History L _{AF}	≈	⊕
	Time History short L _{Aeq}	☑	☑
	Time History short L _{eq} 1/3 ottava	≈	⊕
Parametri acustici derivati	EPNL	≈	≈
	PNLT _{Max}	≈	≈
	Durata "Efficace"	≈	≈
Altri parametri	Durata minima	☑	☑
	Soglia RMS/SPL	☑	☑
	Simmetria	≈	≈
	Curtosi	≈	≈
	Tipologia	≈	≈

Legenda:

☑ necessario

⊕ opportuno

≈ Indifferente

n.a. non applicabile

Fonte dati Figura tratta dalle "Linee guida per la progettazione e la gestione delle reti di monitoraggio acustico aeroportuale" MLG ISPRA 102/2013.

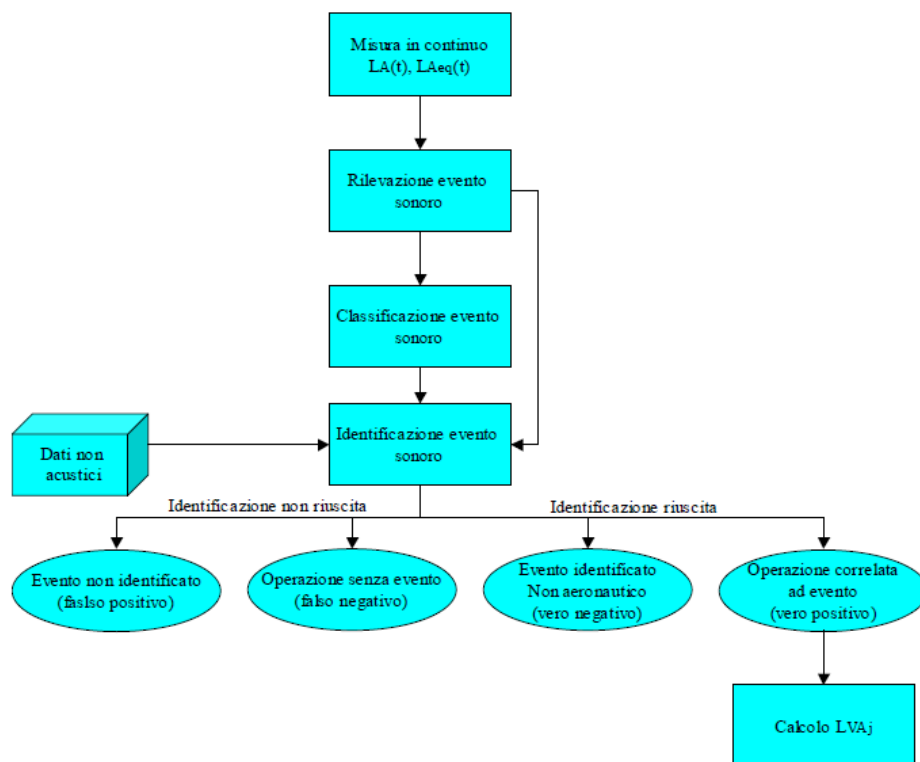
Le stazioni di misura devono acquisire il livello equivalente del rumore per integrazione continua L_{Aeq} e il livello L_VA deve essere calcolato per integrazione dell'energia sonora degli eventi che sono stati riconosciuti come sorvoli di aerei e deve essere riferito al periodo diurno o notturno secondo le definizioni del D.M. 31/10/1997.

Per la determinazione del descrittore L_VA è necessaria l'identificazione degli eventi acustici dovuti al passaggio degli aeromobili, secondo quanto indicato dal D.M. 31/10/1997. Può essere utilizzata, in alternativa, qualunque

metodologia che sia fondata sull'evoluzione temporale del rumore e dello spettro in frequenza e che, soprattutto, sia in grado di identificare l'inizio e la fine dell'evento rumoroso. La metodologia utilizzata e la relativa efficacia del metodo devono essere documentate nel rapporto tecnico di monitoraggio.

La conferma dell'origine aeronautica degli eventi sonori avviene mediante la correlazione tra l'evento sonoro e i dati non acustici relativi ai voli, secondo lo schema illustrato nella figura seguente.

Fig. 15.2 – Schema di attribuzione degli eventi



Fonte dati Figura tratta dalle "Linee guida per la progettazione e la gestione delle reti di monitoraggio acustico aeroportuale" MLG ISPRA 102/2013.

I dati non acustici relativi ai voli, secondo le indicazioni del D.M. 20/05/1999, sono:

- base dati voli, fornita dalla società di gestione;
- tracciati radar, forniti dal fornitore dei servizi di traffico aereo (ad esempio ENAV) al gestore dell'aeroporto, come stabilito dal DM 31/10/1997, all'art. 6, comma 5.

I moderni sistemi di monitoraggio aeroportuale integrano tecnologie e sistemi avanzati, tra cui il riconoscimento automatico degli aeromobili tramite ADS-B.

L'operazione di correlazione tra evento sonoro e dato non acustico deve avvenire in modo automatico, secondo alcune impostazioni generali della procedura che sono fissate per ciascuna stazione di monitoraggio.

Gli eventi sonori dovuti ad attività aeree di emergenza, pubblica sicurezza, soccorso, protezione civile, militare o di Stato devono essere esclusi dal calcolo del LVA.

Il parametro giornaliero LVAj è costruito secondo la seguente formulazione:

$$L_{VA,j} = 10 \cdot \text{Log} \left[\frac{1}{86400} \sum_{i=1}^N 10^{\frac{(SEL_i + Wp)}{10}} \right]$$

$$Wp = 0 \quad \text{fascia} \quad \text{diurna}$$

$$Wp = 10 \quad \text{fascia} \quad \text{notturna}$$

Il periodo diurno è quello definito dall'intervallo tra le ore 06 e le 23, mentre quello notturno è distinto in due sottoperiodi che si riferiscono allo stesso giorno civile, definito dagli intervalli 00-06 e 23-00.

L'indice di valutazione aeroportuale LVA viene calcolato, come indicato nel D.M. 31/10/1997, a partire dai dati giornalieri di LVA_j:

$$L_{VA} = 10 \log \left(\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N 10^{L_{VAj}/10} \right) dB(A)$$

dove N indica il numero di giorni del periodo di riferimento.

I periodi di riferimento per il calcolo dell'indice LVA sono i seguenti:

- 1° gennaio – 31 gennaio e 1° ottobre – 31 dicembre;
- 1° febbraio – 31 maggio;
- 1° giugno – 30 settembre.

Il periodo 1° ottobre – 31 gennaio è separato in due sottoperiodi che si riferiscono al medesimo anno civile.

Per analogia con quanto indicato nel D.M. 16/03/1998 per la misura del livello continuo equivalente di pressione LAeq, il dato di LVA si arrotonda a 0,5 dB.

Al solo fine di confrontare il dato di LVA previsto dalla zonizzazione acustica aeroportuale e quello misurato nelle stazioni di misura, vanno considerati tutti i 21 valori delle 3 settimane identificate. È opportuno che il periodo utilizzato per il confronto sia lo stesso per tutte le stazioni di misura.

Il livello di rumore non aeronautico è ottenuto per differenza logaritmica tra il rumore complessivo e quello aeronautico. Eventuali sorvoli, ancorché non correlati (es.: sorvolo di un aeromobile militare o di soccorso) ma riconosciuti come tali da procedure specifiche, oppure eventi sonori singolarmente identificabili di natura eccezionale (es.: il rumore di un tuono), devono essere esclusi dal calcolo del rumore non aeronautico.

In una stazione di misura, per una migliore interpretazione del rumore non aeronautico, possono essere utilizzati i livelli percentili orari e/o di periodo, in particolare L1, L90 e L99, utili anche a verificare la corretta ubicazione delle stazioni, come previsto dal DM 20/05/1999.

15.1.8.3 Monitoraggio di un sito di attività produttiva

La trattazione di seguito si riferisce esclusivamente ai siti di attività produttiva¹⁵ terrestri; restano escluse le attività e gli impianti offshore.

Il rumore prodotto nei siti di attività produttiva è generalmente composto da più contributi combinati:

- le sorgenti sonore proprie dell'attività produttiva (macchinari, impianti, processi, ecc.);
- le infrastrutture di trasporto che servono il sito, nonché il traffico indotto dall'attività (vie di accesso, logistica);
- le operazioni di carico/scarico, movimentazione interna, logistica esterna correlate.

Per il monitoraggio del rumore prodotto dalle infrastrutture di trasporto a servizio e/o influenzate dal traffico indotto dal sito di attività produttiva si fa riferimento a quanto già indicato nei paragrafi specifici.

La normativa nazionale individua le tecniche di misura e di elaborazione dei parametri acustici ai fini della determinazione dei descrittori specifici all'Allegato B del DM 16/3/1998, integrate, ove necessario, con le norme tecniche applicabili.

I descrittori acustici per valutare gli impatti di un sito di attività produttiva sono:

¹⁵ Definizione generica che include le attività industriali, le attività estrattive, le attività energetiche, ecc.

- LAeq, valutato nei due periodi di riferimento TR, diurno e notturno, secondo la definizione di cui all'Allegato A del DM 16/3/1998;
- LAeq, valutato sul tempo di misura TM, secondo la definizione di cui all'Allegato A del DM 16/3/1998.

Nell'ambito del monitoraggio del rumore prodotto nei siti portuali e negli interporti, si deve considerare anche il rumore prodotto dalle imbarcazioni. In assenza del decreto attuativo previsto all'art. 3, comma 1, lett. I della L.Q 447/9, si fa riferimento alle tecniche di misura di cui all'Allegato B del DM 16/3/1998, nonché alle norme UNI EN ISO 2922 e UNI EN ISO 14509-1 (ove applicabili per imbarcazioni in navigazione e a motore).

I rilevamenti fonometrici sono effettuati nelle condizioni di esercizio più gravose, ossia con le sorgenti in funzione nelle condizioni di massima emissione sonora¹⁶ e/o di massimo disturbo per i ricettori, considerando anche la variabilità delle eventuali altre sorgenti sonore presenti nell'area di indagine che contribuiscono a determinare il clima acustico dell'area di indagine.

I rilevamenti fonometrici sono effettuati in ambiente esterno, per la valutazione del livello assoluto di immissione e del livello di emissione, e in ambiente interno, per la valutazione del livello differenziale di immissione.

Per le misure in ambiente esterno, il microfono è posizionato in prossimità di spazi aperti fruibili da persone o comunità, ad un'altezza di 1,5 m dal suolo (in accordo con la reale o ipotizzata posizione del ricettore), nel punto in cui si rileva il livello sonoro massimo, oppure in prossimità di un edificio ricettore, sempre ad un'altezza di 1,5 m dal suolo e a non meno di 1 m di distanza dalla facciata dell'edificio. Nel caso di edifici multipiano, è consigliabile effettuare anche ai piani più alti, in corrispondenza dei punti acusticamente più esposti (individuati dallo studio di impatto acustico previsionale predisposto nel SIA).

Per le misure in ambiente interno, il microfono è posizionato a 1,5 m dal pavimento e ad almeno 1 m da superfici riflettenti; il rilievo fonometrico è eseguito sia a finestre chiuse che a finestre aperte, al fine di individuare la situazione più gravosa. Nella misura a finestre aperte il microfono è posizionato ad 1 m dalla finestra; in presenza di onde stazionarie il microfono è posto in corrispondenza del punto di massima pressione sonora più vicino alla posizione suddetta. Nella misura a finestre chiuse il microfono è posizionato nel punto in cui si rileva il livello massimo di pressione sonora.

Per la valutazione del livello assoluto di immissione, i rilievi fonometrici sono eseguiti con misurazioni per integrazione continua o con tecnica di campionamento sull'intero periodo di riferimento.

In presenza di numerosi ricettori distribuiti nell'area di indagine si può ricorrere ad una procedura di rilevamento che permette di ottimizzare il campionamento spazio-temporale del rumore¹⁷; la procedura consiste nell'individuare:

- postazioni di monitoraggio in prossimità della sorgente (possibilmente in prossimità del confine di proprietà del sito di attività produttiva), generalmente di tipo fisso, nelle quali effettuare misurazioni per integrazione continua, sul medio o lungo periodo (misurazioni sulle 24 h e/o settimanali), allo scopo di caratterizzare le emissioni della sorgente oggetto di indagine ed eventualmente evidenziare la presenza di eventi sonori impulsivi, componenti tonali di rumore, componenti spettrali in bassa frequenza, rumore a tempo parziale;
- postazioni presso i ricettori, generalmente del tipo mobile/rilocabile, in cui effettuare rilevamenti acustici di breve periodo (o "spot"), in sincronia temporale con le misurazioni effettuate presso le postazioni fisse in prossimità della sorgente.

Attraverso funzioni di trasferimento (relazioni spazio-temporali fra i livelli sonori misurati nelle postazioni in prossimità della sorgente e i livelli sonori misurati nelle postazioni presso i ricettori), è possibile ricostruire i livelli sui ricettori individuati da confrontare con i valori limite normativi.

Per la valutazione del livello di emissione sono eseguiti rilievi in ambiente esterno, per integrazione continua o con tecnica di campionamento sull'intero periodo di riferimento, del livello di rumore ambientale e del livello

¹⁶ È opportuno avere a disposizione informazioni relative al ciclo di produzione, alle modalità operative e alla programmazione oraria delle attività del sito oggetto di indagine.

¹⁷ Approccio descritto per le attività industriali nell'ambito della procedura di Autorizzazione Integrata Ambientale, fra i "principi di monitoraggio del rumore" riportati nelle "Linee guida in materia di sistemi di monitoraggio" recanti criteri per l'individuazione e l'utilizzo delle migliori tecniche disponibili ex art. 3 comma 2 D.Lgs 372/99".

di rumore residuo; al fine della verifica con i valori limite normativi, il rumore immesso dalla sorgente specifica in corrispondenza del ricettore si ottiene come differenza energetica tra il livello di rumore ambientale e il livello di rumore residuo.

Per la valutazione del livello differenziale di immissione si esegue almeno una misura all'interno dell'edificio ricettore del livello di rumore ambientale e del livello di rumore residuo. Il rilievo fonometrico è effettuato con tempi di misura (TM) sufficienti a caratterizzare in maniera adeguata i livelli di rumore ambientale e residuo. È cura del Tecnico competente in acustica individuare il tempo di misura più idoneo in base alla variabilità temporale dell'emissione della sorgente.

Nel caso non sia possibile effettuare misure di rumore residuo, per l'impossibilità di disattivare la sorgente oggetto di indagine, si fa riferimento alla UNI 10855 per stimare l'entità dell'emissione sonora della sorgente e quindi calcolare il livello di rumore residuo come differenza energetica tra il livello di rumore ambientale misurato e il livello di emissione stimato.

Qualora non risulti agevole l'accesso alle abitazioni per le misure in ambiente interno, è possibile stimare il rumore immesso secondo la procedura indicata dalla norma UNI 11143-1. In ogni caso, risulta necessario conoscere il livello acustico in corrispondenza della facciata più esposta del ricettore, valutando gli indici di abbattimento del rumore nelle situazioni a finestre aperte e chiuse mediante le caratteristiche fonoisolanti dei singoli elementi che compongono le pareti secondo le indicazioni della norma UNI 12354-3. In mancanza di dati, si possono considerare i seguenti livelli di abbattimento tra il livello di rumore all'interno e il livello di rumore in facciata all'edificio¹⁸: 15 dB a finestre aperte; 21 dB a finestre chiuse.

Nel caso di un impianto a ciclo continuo esistente ai sensi del DM 11/12/1996, ossia già autorizzato o realizzato alla data di entrata in vigore del decreto, la valutazione del livello differenziale va effettuata limitatamente alle parti di impianto modificate, se il procedimento autorizzativo riguarda esclusivamente le modifiche all'impianto esistente¹⁹.

Nel caso in cui il procedimento autorizzativo riguardi l'intero impianto a ciclo continuo, già classificato come esistente ai sensi del DM 11/12/1996, la valutazione del livello differenziale deve essere riferita all'intero impianto²⁰.

Nei casi di impianto a ciclo continuo, in cui non è possibile disattivare l'intero impianto (o alcune sue parti), per valutare il livello di emissione si fa riferimento a quanto indicato dalla norma UNI 10855. In tali situazioni, il livello di rumore residuo è calcolato come differenza energetica tra il livello di rumore ambientale misurato e il livello di emissione stimato.

I parametri acustici rilevati dal monitoraggio sono: LAeq, LAF, LAFmax, LAFmin, LAImin, LASmin, con analisi spettrale in 1/3 d'ottava.

Sono acquisiti anche i livelli percentili L10, L50, L90, al fine di caratterizzare la sorgente sonora esaminata.

In sintesi, l'elaborazione dei parametri acustici misurati prevede:

1. eliminazione dei dati acquisiti in condizioni meteorologiche non conformi;
2. eliminazione dei livelli sonori attribuibili ad eventi anomali e/o accidentali;
3. calcolo dei descrittori acustici;
4. riconoscimento degli eventi sonori impulsivi, componenti tonali di rumore, componenti spettrali in bassa frequenza, rumore a tempo parziale;
5. eventuale correzione dei livelli LAeq con l'applicazione dei fattori correttivi KI, KT, KB, (come indicato nell'Allegato A, punto 17 del D.M. 16/03/1998);
6. confronto con i valori limite normativi.

15.1.8.4 Monitoraggio di un impianto eolico

¹⁸ Indicazioni contenute nelle linee guida dell'OMS "Night noise guidelines for Europe", capp. 1 e 5.

¹⁹ Circolare Ministero dell'Ambiente 6 settembre 2004.

²⁰ Il nuovo procedimento che riguarda l'intero impianto comporta la decadenza dei presupposti che qualificavano l'impianto come esistente ai sensi del DM 11/12/1996.

Il monitoraggio acustico di un impianto eolico è disciplinato dal DM 1° giugno 2022, che stabilisce i criteri per la misura e la valutazione delle emissioni sonore generate dagli aerogeneratori. Il decreto introduce specifiche definizioni di riferimento, tra cui: *impianto eolico*, *aerogeneratore*, *aerogeneratore potenzialmente impattante*, *ricettore* e *ricettore sensibile*²¹.

I criteri per l'esecuzione delle misure sono dettagliati negli Allegati 1, 2 e 3 del decreto:

- Allegato 1 – Norme tecniche per l'esecuzione delle misure;
- Allegato 2 – Procedura che prevede lo spegnimento degli aerogeneratori potenzialmente impattanti;
- Allegato 3 – Procedura che non prevede lo spegnimento degli aerogeneratori potenzialmente impattanti.

Le modalità di misura tengono conto della particolare natura della sorgente, caratterizzata da una variabilità sonora significativa al variare delle condizioni meteorologiche. Per questo motivo, le misure devono essere eseguite per un periodo sufficientemente lungo, garantendo la simultanea acquisizione in continuo dei livelli di rumore e dei parametri meteorologici, per tutta la durata del monitoraggio.

Le rilevazioni devono consentire la valutazione dei livelli sonori al ricettore nelle condizioni di vento più gravose (quelle che producono il maggiore impatto acustico). Pertanto, al fine di effettuare una corretta pianificazione della campagna di misura, è necessario disporre, anche con il supporto del gestore dell'impianto, della caratterizzazione anemologica del sito.

Le caratteristiche della strumentazione di misura per l'acquisizione dei parametri acustici e dei parametri meteo sono specificate nell'Allegato 1.

I parametri acustici da acquisire sono:

- profilo temporale del LAeq su base temporale di 1 s;
- LAq, 10min (LAeq valutato su intervalli di 10 min);
- Spettro acustico del LAeq, 10min in bande di terze di ottava tra 20 Hz e 20000 Hz.

I parametri meteorologici da acquisire sono:

- media del modulo delle velocità del vento su intervalli temporali di 10 min;
- moda della direzione del vento su intervalli temporali di 10 min;
- precipitazioni (pioggia, neve e grandine) su intervalli temporali di 10 min;
- temperatura media su intervalli temporali di 10 min.

Per ogni punto di misura, individuato presso i ricettori sensibili presenti nell'area di indagine e i ricettori potenzialmente critici e/o più esposti sulla base delle valutazioni previsionali predisposte nel SIA, devono essere identificati gli aerogeneratori potenzialmente impattanti.

²¹ **Impianto eolico:** l'insieme di tutti gli aerogeneratori di un sito eolico, interconnessi tra loro, di proprietà di uno stesso soggetto giuridico e oggetto della medesima autorizzazione; (art.2, comma 1, lett.a., DM 1° giugno 2022)

Aerogeneratore: dispositivo per la conversione dell'energia cinetica del vento in energia elettrica; può essere ad asse verticale o orizzontale. Ogni aerogeneratore è costituito, in generale, da una torre di sostegno, un rotore (mozzo e pale), il generatore elettrico, il sistema di controllo e in alcuni casi il moltiplicatore di giri e/o l'inverter (art.2, comma 2, lett.b., DM 1° giugno 2022).

Aerogeneratore a vista: aerogeneratore il cui rotore non sia totalmente schermato da rilievi del terreno lungo la linea retta ricettore-aerogeneratore tracciata sul corrispondente profilo altimetrico (art. 2, comma 1, lett. d., DM 1° giugno 2022).

Aerogeneratore potenzialmente impattante: aerogeneratore di un impianto eolico soggetto a valutazione; nel caso di un impianto eolico con più aerogeneratori, aerogeneratore a vista con distanza ricettore-aerogeneratore inferiore a 1,5 km oppure, qualora $\min \{3r_1; 20D\} \geq 1,5 \text{ km}$, inferiore a $\min \{3r_1; 20D\}$ dove r_1 è la distanza tra il ricettore e l'aerogeneratore più vicino mentre D è il diametro del rotore (art.2, comma 1, lett. e., DM 1° giugno 2022).

Ricettore: qualsiasi edificio adibito ad ambiente abitativo individuato dagli strumenti urbanistici comprese le relative aree esterne di pertinenza, o ad attività lavorativa e ricreativa; aree territoriali edificabili già individuate dagli strumenti urbanistici e da loro varianti generali, vigenti alla data di entrata in vigore del regolamento di cui all'art. 11, comma 1, della legge 26 ottobre 1995, n. 447 per gli impianti esistenti, ovvero vigenti al momento del rilascio del provvedimento autorizzativo per gli impianti nuovi; (art. 2, comma 1, lett. k., DM 1° giugno 2022)

Ricettore sensibile: edificio adibito a scuola, ospedale, casa di cura o casa di riposo; (art. 2, comma 1, lett. l., DM 1° giugno 2022).

Ai fini dell'elaborazione delle misure, secondo le procedure di cui agli Allegati 2 e 3, è necessario richiedere al gestore, per ogni aerogeneratore potenzialmente impattante, i seguenti dati riferiti a intervalli consecutivi di 10 min:

- media della velocità del vento al mozzo;
- moda della direzione del vento al mozzo;
- velocità media di rotazione delle pale.

La scelta tra la procedura di misura con spegnimento degli aerogeneratori (Allegato 2) o senza spegnimento degli aerogeneratori (Allegato 3) dipende dalla tipologia di impianto eolico di progetto (nuova installazione o repowering di impianto esistente), dall'eventuale presenza di altri impianti eolici già esistenti, le cui emissioni sonore concorrono al rumore residuo dell'area, e dalla fattibilità tecnica e operativa di spegnere gli aerogeneratori esistenti potenzialmente impattanti durante la campagna di misura.

Nelle more dell'emanazione del regolamento di definizione dei valori limite di immissione specifici per gli impianti eolici (previsto dalla Legge Quadro n.447/95), il DM 1° giugno 2022 stabilisce che gli impianti eolici siano soggetti al rispetto dei limiti determinati dalla classificazione acustica del territorio (valori limite assoluti di immissione e valori limite di emissione) e al rispetto dei valori limite differenziali di immissione, su entrambi i periodi di riferimento (diurno e notturno).

Per il confronto con i valori limite assoluti di immissione i livelli di rumore ambientale LAeq,10min relativi agli intervalli validi di 10 minuti, misurati ed elaborati secondo le modalità di cui agli allegati del D.M. 1° giugno 2022, sono aggregati, per ciascun periodo di riferimento (diurno e notturno) di ogni giorno di misura, come media energetica. I valori LAeq,TR (diurno/notturno) così calcolati sono confrontati con i valori limite assoluti di immissione e i limiti sono rispettati se non vengono mai superati in alcun periodo di riferimento e in alcun giorno di misura.

Per il confronto con i valori limite di emissione sono eseguite le procedure per il calcolo del livello di immissione specifico dell'impianto eolico LE, nei due periodi di riferimento, come indicato nell'Allegato 2 e nell'Allegato 3, a seconda della procedura di misura e di elaborazione dati scelta. I livelli LE (diurno/notturno) sono confrontati con i valori limite di emissione e il rispetto dei limiti è garantito solo se non si registrano superamenti in alcun periodo di riferimento e in alcun giorno di misura.

Per il confronto con i valori limite differenziale di immissione i livelli di rumore ambientale (LA) e di rumore residuo (LR) sono misurati ed elaborati secondo le modalità di cui all'Allegato 2 o all'Allegato 3, a seconda della procedura di misura e di elaborazione dati scelta: Per ogni classe di velocità del vento e per entrambi i periodi di riferimento, si verifica l'applicabilità del criterio differenziale confrontando il livello LA con la soglia di applicabilità (50 dBA nel periodo diurno e 40 dBA nel periodo notturno). Per quelle classi di velocità del vento in cui LA supera la soglia, si calcola il livello differenziale come differenza algebrica tra LA e LR. Il valore limite differenziale di immissione è rispettato se nessuna differenza algebrica supera il valore di 5 dBA nel periodo diurno e/o 3 dBA nel periodo notturno.

15.1.9 Valori di riferimento

I valori limiti a tutela della popolazione, individuati dalla L.Q. 447/1995 e dai relativi decreti attuativi, sono definiti in base alla tipologia di sorgente sonora e alla destinazione urbanistica (classe acustica) del territorio.

Per la determinazione dei valori limite applicabili ad un'infrastruttura di trasporto lineare (strada/ferroviaria) sono individuate le fasce di pertinenza acustica dell'infrastruttura di trasporto e la posizione dei ricettori rispetto alle fasce di pertinenza.

Per le infrastrutture di trasporto stradale²², i valori limite applicabili sono determinati in funzione della tipologia di strada, delle fasce di pertinenza acustica e della posizione dei ricettori rispetto ad esse.

- Ricettori all'interno delle fasce di pertinenza acustica:

²² Le infrastrutture stradali si suddividono in: 1) infrastrutture esistenti e assimilabili (ampliamenti in sede (art.1, c.1, lett.d) D.P.R. 142/2004), affiancamenti (art.1, c.1, lett.e) D.P.R. 142/2004), varanti (art.1, c.1, lett.h) D.P.R. 142/2004), 2) in infrastrutture di nuova realizzazione

- per le infrastrutture stradali di nuova realizzazione: valori limite di cui all'art.4 del D.P.R. 142/2004; per le infrastrutture stradali esistenti e assimilabili: valori limite di cui all'art.5 del DPR 142/2004;
- valori limite interni agli edifici, stabiliti all'art.6 del D.P.R. 142/2004;
- in presenza di sovrapposizione tra fasce di pertinenza: livelli soglia (art. 4, commi 2 e 3 del D.M. 29/11/2000).
- Ricettori all'esterno delle fasce di pertinenza acustica:
 - valori limite assoluti di immissione (Tabella C del D.P.C.M. 14/11/1997), stabiliti dai Piani comunali di classificazione acustica;
 - in assenza di Piano di classificazione acustica, limiti di accettabilità (art. 6 D.P.C.M. 01/03/1991);
 - valori limite interni agli edifici, stabiliti all'art.6 del D.P.R. 142/2004.

Per le infrastrutture di trasporto ferroviario²³ sono individuate le fasce di pertinenza acustica (art.3 del D.P.R. 459/1998); i valori limite applicabili variano in base alla tipologia di infrastruttura e alla posizione dei ricettori.

- ricettori all'interno delle fasce di pertinenza acustica:
 - per le infrastrutture ferroviarie di nuova realizzazione con velocità di progetto superiore a 200 km/h: valori limite di cui all'art.4, comma 3 del D.P.R. 459/1998; per le infrastrutture esistenti, loro varianti, infrastrutture di nuova realizzazione in affiancamento di infrastrutture esistenti e infrastrutture di nuova realizzazione con velocità di progetto non superiore a 200 km/h: valori limite di cui all'art.5, comma 1 del D.P.R. 459/1998.
 - valori limite interni agli edifici stabiliti all'art.4, comma 5 e all'art.5, comma 3 del D.P.R. 459/1998.
 - in presenza di sovrapposizione tra fasce di pertinenza: livelli soglia (art. 4, commi 2 e 3 del D.M. 29/11/2000).
- ricettori all'esterno delle fasce di pertinenza acustica:
 - valori limite assoluti di immissione (Tabella C del D.P.C.M. 14/11/1997), definiti dai Piani comunali di classificazione acustica;
 - in assenza di Piano di classificazione acustica, limiti di accettabilità (art.6 D.P.C.M. 01/03/1991);
 - valori limite interni agli edifici stabiliti all'art.4, comma 5 e all'art.5, comma 3 del D.P.R. 459/1998.

Per le infrastrutture di trasporto aeroportuali, la determinazione dei valori limite si basa sulla presenza delle zone di rispetto (zona A, B, e C) dell'intorno aeroportuale, definite all'art.6, comma 1 del D.M. 31/10/1997, e sulla posizione dei ricettori rispetto all'intorno aeroportuale.

- ricettori all'interno dell'intorno aeroportuale:
 - valori limite in LVA previsti per ciascuna zona di rispetto (art.6, comma 2 del D.M. 31/10/1997);
 - in presenza di sovrapposizione tra fasce di pertinenza: livelli soglia (art. 4, commi 2 e 3 del D.M. 29/11/2000).
- ricettori all'esterno dell'intorno aeroportuale:
 - livello LVA ≤ 60 dB(A);
 - valori limite assoluti di immissione (Tabella C del D.P.C.M. 14/11/1997), definiti dai Piani comunali di classificazione acustica;
 - in assenza di Piano di classificazione acustica, limiti di accettabilità (art.6 D.P.C.M. 01/03/1991).

²³ Le infrastrutture ferroviarie si suddividono in: 1) Infrastrutture esistenti, loro varianti, infrastrutture di nuova realizzazione in affiancamento di infrastrutture esistenti e infrastrutture di nuova realizzazione con velocità di progetto non superiore a 200 km/h; 2) Infrastrutture di nuova realizzazione con velocità di progetto superiore a 200 km/h.

La Caratterizzazione acustica dell'intorno aeroportuale, con la definizione delle zone di rispetto, è approvata dalla Commissione aeroportuale (art. 5, comma 1 del D.M. 31/10/1997).

Nel monitoraggio PO può verificarsi una delle due situazioni:

1. presenza della Caratterizzazione acustica dell'intorno aeroportuale (zone A, B e C perimetrate);
2. assenza della Caratterizzazione acustica dell'intorno aeroportuale.

In assenza di perimetrazione delle zone A, B e C, le valutazioni sono effettuate considerando l'impronta acustica previsionale elaborata nello SIA, con riferimento allo scenario d'impatto di progetto individuato dal Proponente.

Per i siti di attività produttiva, i valori limite sono determinati in base alle classi di zonizzazione acustica e/o alle destinazioni urbanistiche del territorio in cui si trovano i ricettori:

- valori limite assoluti di immissione (Tabella C del D.P.C.M. 14/11/1997) e valori limite di emissione (Tabella B del D.P.C.M. 14/11/1997), stabiliti dai Piani comunali di classificazione acustica;
- in assenza di Piano di classificazione acustica, limiti di accettabilità (art.6 D.P.C.M. 01/03/1991);
- Valori limite differenziali di immissione (art.4, commi 1 e 2 del D.P.C.M. 14/11/1997).

Nelle more dell'emanazione dello Regolamento di esecuzione specifico per l'inquinamento acustico generato dagli impianti eolici, il D.M. 1° giugno 2022 stabilisce l'applicazione ai ricettori dei seguenti valori limite:

- valori limite assoluti di immissione (Tabella C) e valori limite di emissione (Tabella B) del D.P.C.M. 14/11/1997, stabiliti dai Piani comunali di classificazione acustica;
- in assenza di Piano di classificazione acustica, limiti di accettabilità (art.6 D.P.C.M. 01/03/1991);
- valori limite differenziali di immissione (art.4 D.P.C.M. 14/11/1997) con le seguenti specifiche:
 - o la valutazione va effettuata solo all'esterno, in facciata agli edifici;
 - o le soglie di applicabilità (50 dB(A) di giorno e 40 dB(A) di notte) vanno verificate in esterno, senza considerare l'isolamento della facciata a finestre aperte.

Per le attività di cantiere, i valori limite dipendono dalla classificazione acustica comunale e/o dalla destinazione urbanistica del territorio in cui si trovano i ricettori:

- valori limite assoluti di immissione (Tabella C) e valori limite di emissione (Tabella B) del D.P.C.M. 14/11/1997, stabiliti dai Piani comunali di classificazione acustica;
- in assenza di Piano di classificazione acustica, limiti di accettabilità (art.6 D.P.C.M. 01/03/1991);
- valori limite differenziali di immissione (art.4, commi 1 e 2 del D.P.C.M. 14/11/1997);
- eventuali valori massimi previsti dalle Leggi regionali e/o dalle autorizzazioni in deroga rilasciate dai Comuni.

In assenza di uno specifico regolamento che disciplini l'inquinamento acustico derivante dal traffico marittimo e dai natanti e imbarcazioni di qualsiasi natura, si fa riferimento ai valori limite stabiliti dai comuni con la classificazione acustica del territorio (D.P.C.M. 14/11/1997 e D.P.C.M. 1/3/1991). Per le infrastrutture di trasporto marittimo non si applicano i limiti differenziali di immissione, come previsto dall'art. 4, comma 3 del D.P.C.M. 14/11/1997.

15.1.10 Scheda tecnica

In merito al rumore in ambito terrestre si riportano le seguenti schede tecniche:

- Scheda tecnica 1 – Rumore ambito terrestre - Fase *ante operam*
- Scheda tecnica 2 – Rumore ambito terrestre - Fase corso d'opera (cantiere)
- Scheda tecnica 3 – Rumore ambito terrestre - Fase *post operam*. Infrastrutture stradali
- Scheda tecnica 4 – Rumore ambito terrestre - Fase *post operam*. Infrastrutture ferroviarie
- Scheda tecnica 5 – Rumore ambito terrestre - Fase *post operam*. Infrastrutture aeroportuali
- Scheda tecnica 6 – Rumore ambito terrestre - Fase *post operam*. Siti di attività produttiva
- Scheda tecnica 7 – Rumore ambito terrestre - Fase *post operam*. Impianti eolici

Scheda tecnica 1 – Rumore ambito terrestre - Fase *ante operam*

RUMORE – ANTE OPERAM (AO)						
Obiettivi specifici del MA	Ambito oggetto del PMA	Localizzazione dei monitoraggi	Parametro descrittore	Frequenza/durata dei monitoraggi	Metodologia di riferimento	Valore di riferimento
CARATTERIZZARE IL CLIMA ACUSTICO DELLO "SCENARIO DI BASE" STIMARE I CONTRIBUTI SPECIFICI DELLE SORGENTI DI RUMORE EVIDENZIARE SITUAZIONI DI CRITICITÀ PREESISTENTI ALLA REALIZZAZIONE DELL'OPERA DI PROGETTO	Valutazione degli impatti/effetti del rumore sulla popolazione	In prossimità dell'opera di progetto. In prossimità dell'area di cantiere e della viabilità interessata dai mezzi di cantiere. Secondo la seguente scala di priorità. -presso ricettore sensibile (scuola, ospedale, case di cura, ecc.). -presso ricettore abitativo.	Descrittori acustici individuati dalla normativa (LQ 447/95 e decreti attuativi), funzione della tipologia di sorgente/i preesistente/i nell'area di indagine	Almeno una misurazione prima della realizzazione dell'opera di progetto La frequenza delle misure e i periodi di effettuazione devono tenere conto della variabilità dei livelli sonori delle sorgenti presenti e dei fattori che influenzano il clima acustico. La durata delle misure è funzionale all'elaborazione dei descrittori specifici	Il monitoraggio prevede l'acquisizione di: -parametri acustici; -parametri meteorologici; -eventuali dati di traffico di infrastrutture di trasporto presenti AO. I parametri meteorologici: -precipitazioni atmosferiche (mm); -direzione prevalente del vento (gradi rispetto al Nord); -velocità del vento (m/s); -umidità relativa dell'aria (%); -temperatura (°C). I dati di traffico da acquisire dipendono dalla tipologia di infrastruttura/e di trasporto presente/i. Per le caratteristiche del sistema di monitoraggio vedi § 15.1.6.1. I parametri acustici da acquisire, le tecniche di misura e di elaborazione ai fini della determinazione dei descrittori sono individuati	Valori limite individuati dalla normativa (LQ 447/95 e decreti attuativi), funzione della destinazione urbanistica e/o classificazione acustica del territorio e/o della tipologia di sorgente/i preesistente/i nell'area di indagine

RUMORE – ANTE OPERAM(AO)						
Obiettivi specifici del MA	Ambito oggetto del PMA	Localizzazione dei monitoraggi	Parametro descrittore	Frequenza/durata dei monitoraggi	Metodologia di riferimento	Valore di riferimento
					dalla normativa (LQ 447/95 e decreti attuativi) e sono funzione della tipologia di sorgente/i presente/i nell'area di indagine. Per l'elaborazione dei parametri acustici acquisiti dalla strumentazione ai fini della determinazione dei descrittori di riferimento vedi § 15.1.6.2.	

Scheda tecnica 2 – Rumore ambito terrestre - Fase corso d'opera (cantiere)

RUMORE – FASE CORSO D'OPERA (CANTIERE)						
Obiettivi specifici del MA	Ambito oggetto del PMA	Localizzazione dei monitoraggi	Parametro descrittori	Frequenza/durata dei monitoraggi	Metodologia di riferimento	Valore di riferimento
VALUTARE L'ALTERAZIONE DEL CLIMA ACUSTICO RISPETTO ALLO "SCENARIO DI BASE" VERIFICARE IL RISPETTO DEI VALORI LIMITE INDIVIDUATI DALLA NORMATIVA (NAZIONALE/REGIONALE) VERIFICARE IL RISPETTO DI PRESCRIZIONI SUI LIVELLI MASSIMI DELLE AUTORIZZAZIONI IN DEROGA RILASCIATE DAI COMUNI VERIFICARE L'EFFICACIA DI AZIONI CORRETTIVE - INTERVENTI DI MITIGAZIONE	Valutazione degli effetti/impatti sulla popolazione. Verifiche acustiche.	In prossimità dell'area di cantiere e della viabilità interessata dai mezzi di cantiere Secondo la seguente scala di priorità: -presso ricettore sensibile (scuola, ospedale, case di cura,ecc.); -presso ricettore critico e/o potenzialmente critico; -presso ricettore oggetto di azione correttiva e/o intervento di mitigazione; -presso ricettore influenzato da altre sorgenti.	L_{Aeq}, valutato nei due periodi di riferimento TR, diurno e notturno. L_{Aeq}, valutato nel tempo di misura TM	La frequenza delle misure è legata alle attività di cantiere. In funzione del cronoprogramma, si individuano le singole fasi di lavorazione; l'attività di monitoraggio si programma: -in corrispondenza delle fasi di lavorazione caratterizzate da emissioni sonore più significative/critiche; -ad ogni impiego di nuovi macchinari/specifiche lavorazioni; -alla realizzazione degli interventi di mitigazione; -allo spostamento del fronte di lavorazione (nel caso di cantieri lungo linea). Per lavorazioni che si protraggono nel tempo, è possibile programmare misure, con periodicità bimestrale, trimestrale o semestrale. La durata dei monitoraggi è funzionale all'elaborazione dei descrittori. La durata complessiva dell'attività di monitoraggio è pari alla durata prevista per la completa realizzazione dell'opera in di progetto.	Il monitoraggio prevede l'acquisizione di: -parametri acustici; -parametri meteorologici; -dati di traffico. I parametri meteorologici: -precipitazioni atmosferiche (mm); -direzione prevalente del vento (gradi rispetto al Nord); -velocità massima del vento (m/s); -umidità relativa dell'aria (%); -temperatura (°C). I dati di traffico sono relativi ai mezzi di cantiere in ingresso e uscita dalle aree di cantiere sulle piste di cantiere e sulla viabilità ordinaria. Per le caratteristiche del sistema di monitoraggio vedi § 15.1.6.1. I parametri acustici da acquisire, le tecniche di misura e di elaborazione dei parametri acustici acquisiti ai fini della determinazione dei descrittori: Allegato B del DM 16/3/1998. I parametri acustici sono: L_{Aeq}, L_{AF}, L_{AFmax}, L_{AFmin}, L_{Almin}, L_{ASmin}, con analisi spettrale in 1/3 d'ottava. Sono acquisiti anche i livelli percentili L10, L50, L90. Per l'elaborazione dei parametri acustici acquisiti dalla strumentazione ai fini della determinazione dei descrittori di riferimento vedi § 15.1.7.	Limiti della zonizzazione acustica: -limiti assoluti di immissione e di emissione: Tabella C e Tabella B DPCM 14/11/1997; -limiti di accettabilità (DPCM 01/03/1991) Limiti differenziali di immissione: DPCM 14/11/1997 Limiti massimi previsti dalle leggi regionali o prescritti dalle autorizzazioni in deroga rilasciate dai Comuni
VERIFICARE IL RISPETTO DI PROCEDURE, VINCOLI AUTORIZZATIVI, MODALITÀ OPERAZIONALI/GESTIONALI	Valutazione degli effetti/impatti sulla popolazione. Verifiche non acustiche.	---	Tipologia delle prescrizioni: limitazioni orarie; tipologie di macchine, modalità operative, ecc.	Frequenza dei controlli: da stabilire sulla base della criticità e della variabilità delle lavorazioni. I controlli sono effettuati: -all'avvio del cantiere; -all'avvio di fasi specifiche; -quando previsto da protocollo operativi; -quando previsto da procedure/prescrizioni impartite da autorità di controllo. (...)	La metodologia di verifica prevede: sopralluoghi, videoregistrazioni, raccolta di documentazione tecnica, registrazioni delle attività di cantiere, ecc.	---

Scheda tecnica 3 – Rumore ambito terrestre - Fase *post operam*. Infrastrutture stradali

RUMORE - POST OPERAM (PO) - INFRASTRUTTURE STRADALI						
Obiettivi specifici del MA	Ambito oggetto del PMA	Localizzazione dei monitoraggi	Parametro descrittore	Frequenza/durata dei monitoraggi	Metodologia di riferimento	Valore di riferimento
VALUTARE L'ALTERAZIONE DEL CLIMA ACUSTICO RISPETTO ALLO "SCENARIO DI BASE" VERIFICARE IL RISPETTO DEI VALORI LIMITE INDIVIDUATI DALLA NORMATIVA	Valutazione degli effetti/impatti sulla popolazione	In prossimità dell'infrastruttura stradale di progetto Secondo la seguente scala di priorità: -presso ricettore sensibile (scuola, ospedale, case di cura, ecc.); -presso ricettore critico e/o potenzialmente critico; -presso ricettore oggetto di azione correttiva e/o intervento di mitigazione; -presso ricettore influenzato da altre sorgenti.	LAeq, diurno e notturno, valutato sulla settimana (dB(A))	All'entrata in esercizio e nelle condizioni di esercizio di progetto dell'infrastruttura Le misure prevedono rilevamenti in continuo di almeno una settimana. La frequenza delle misurazioni e i periodi di effettuazione devono tenere conto della variabilità dei flussi di traffico dell'infrastruttura in esame, delle altre sorgenti presenti e dei fattori che influenzano il clima acustico nell'area di indagine.	Il monitoraggio prevede l'acquisizione di: -parametri acustici; -parametri meteorologici; -dati di traffico. I parametri meteorologici: precipitazioni atmosferiche (mm); -direzione prevalente del vento (gradi rispetto al Nord); -velocità massima del vento (m/s); -umidità relativa dell'aria (%); -temperatura (°C). I dati di traffico sono acquisiti per correlare i livelli sonori rilevati agli effettivi transiti conteggiati durante il tempo di misura. I dati di traffico: -flusso veicolare con dettaglio orario o sui periodi temporali di riferimento, distinto per tipologia di veicoli e categoria; -velocità media dei transiti per tipologia di veicoli. Per le caratteristiche del sistema di monitoraggio vedi § 15.1.6.1. Le tecniche di misura e di elaborazione dei parametri acustici acquisiti ai fini della determinazione dei descrittori del rumore stradale: Allegato C, punto 2, del DM 16/3/1998. Il parametro acustico fondamentale acquisito dalla strumentazione è il LAeq (con costante temporale Fast oppure come "short LAeq"), da cui si ricava il LAeqorario (LAeqh) Altri parametri acustici: -Ln, livelli statistici (principalmente L10, L50, L90); -LAF, LAFMax; -lo spettro 1/3 ottava; -la time-history. Per l'elaborazione dei parametri acustici acquisiti dalla strumentazione ai fini della determinazione dei descrittori di riferimento vedi § 15.1.8.1	Limiti delle fasce di pertinenza: artt.4 e 5 del DPR 142/2004; Livelli di soglia nelle aree di sovrapposizione tra fasce di pertinenza: DM 29/11/2000 (art. 4, comma 2 e 3). Limiti della zonizzazione acustica, al di fuori dalle fasce di pertinenza: Tabella C del DPCM 14/11/1997 e DPCM 1/3/1991 (art.6); Limiti interni agli edifici: DPR 142/2004 (art.6);

RUMORE - POST OPERAM (PO) - INFRASTRUTTURE STRADALI						
Obiettivi specifici del MA	Ambito oggetto del PMA	Localizzazione dei monitoraggi	Parametro descrittore	Frequenza/durata dei monitoraggi	Metodologia di riferimento	Valore di riferimento
VERIFICARE L'EFFICACIA ACUSTICA DEGLI INTERVENTI DI MITIGAZIONE	Valutazione degli effetti/impatti sulla popolazione	Nell'area oggetto di intervento di mitigazione, presso: Ricettore critico (o più esposto) Altri ricettori: -ricettore sensibili; -ricettore interessati da sorgenti concorsuali; -ricettore che risentono, in negativo, della presenza dell'intervento di mitigazione Ricettore oggetto di intervento di mitigazione diretto	LAeq, diurno e notturno, valutato sulla settimana (dB(A))	A seguito della realizzazione dell'intervento di mitigazione. Le misure prevedono rilevamenti in continuo di almeno una settimana. Le misure devono essere effettuate nei periodi più critici per i ricettori, tenendo conto della variabilità dei flussi di traffico dell'infrastruttura in esame, delle altre sorgenti presenti e dei fattori che influenzano il clima acustico nell'area di indagine.	Per la metodologia di monitoraggio del rumore stradale vedi sopra Metodologia definita nelle Linea guida per il controllo e il monitoraggio acustico ai fini delle verifiche di ottemperanza delle prescrizioni – Parte I “Protocollo per la verifica dell'efficacia delle mitigazioni previste nei pareri di compatibilità ambientale delle infrastrutture stradali” (ISPRA MLG 100/2013) La metodologia si può applicare nei casi in cui la procedura di misura prevista dal DM 16/03/1998 non risulta di agevole attuazione (misure da eseguire all'interno di un ambiente abitativo per la verifica del rispetto dei valori limite differenziali) o nei casi in cui la verifica deve essere eseguita presso più punti ricettori.	Vedi sopra

Scheda tecnica 4 – Rumore ambito terrestre - Fase *post operam*. Infrastrutture ferroviarie

RUMORE - POST OPERAM (PO) - INFRASTRUTTURE FERROVIARIE						
Obiettivi specifici del MA	Ambito oggetto del PMA	Localizzazione dei monitoraggi	Parametro descrittore	Frequenza/durata dei monitoraggi	Metodologia di riferimento	Valore di riferimento
VALUTARE L'ALTERAZIONE DEL CLIMA ACUSTICO RISPETTO ALLO "SCENARIO DI BASE" VERIFICARE IL RISPETTO DEI VALORI LIMITE INDIVIDUATI DALLA NORMATIVA	Valutazione degli effetti/impatti sulla popolazione	In prossimità dell'infrastruttura ferroviaria di progetto Secondo la seguente scala di priorità: -presso ricettore sensibile (scuola, ospedale, case di cura, ecc.); -presso ricettore critico e/o potenzialmente critico; -presso ricettore oggetto di intervento di mitigazione; -presso ricettore influenzato da altre sorgenti.	LAeq, diurno e notturno, valutato sulle 24 h (dB(A))	All'entrata in esercizio e nelle condizioni di esercizio di progetto dell'infrastruttura ferroviaria Le misure prevedono rilevamenti in continuo di almeno 24 h. La frequenza delle misurazioni e i periodi di effettuazione devono tenere conto della variabilità dei flussi di traffico dell'infrastruttura in esame, delle altre sorgenti presenti e dei fattori che influenzano il clima acustico nell'area di indagine.	Il monitoraggio prevede l'acquisizione di: -parametri acustici; -parametri meteorologici; -dati di traffico. I parametri meteorologici: -precipitazioni atmosferiche (mm); -direzione prevalente del vento (gradi rispetto al Nord); -velocità massima del vento (m/s); -umidità relativa dell'aria (%); -temperatura (°C). I dati di traffico sono acquisiti per correlare i livelli sonori rilevati agli effettivi transiti conteggiati durante il tempo di misura. I dati di traffico: -numero dei convogli, suddiviso per tipologia (merci, passeggeri, alta velocità, ecc.), con indicazione della lunghezza e riferito ai periodi temporali (diurno/notturno); -la velocità media per tipologia di convogli. Per le caratteristiche del sistema di monitoraggio vedi § 15.1.6.1. Le tecniche di misura e di elaborazione dei parametri acustici acquisiti ai fini della determinazione dei descrittori del rumore ferroviario: Allegato C, punto 1, del DM 16/3/1998. I parametri acustici acquisiti dalla strumentazione: LAeq, LAE (SEL). Altri parametri acustici: -Ln, livelli statistici (principalmente L10, L50, L90,); -LAF, LAFMax; -lo spettro 1/3 ottava; -la time-history. Per l'elaborazione dei parametri acustici acquisiti dalla strumentazione ai fini della determinazione dei descrittori di riferimento vedi § 15.1.8.1.	Limiti delle fasce di pertinenza: artt. 4, comma 3 e art.5, comma 1 DPR 459/1998; Livelli di soglia nelle aree di sovrapposizione tra fasce di pertinenza: DM 29/11/2000 (art. 4, comma 2 e 3). Limiti della zonizzazione acustica, al di fuori dalle fasce di pertinenza: Tabella C del DPCM 14/11/1997 e DPCM 1/3/1991 (Art.6) Limiti interni agli edifici: DPR 459/1998 (art.4, comma 5 e art.5, comma 3)

RUMORE - POST OPERAM (PO) - INFRASTRUTTURE FERROVIARIE						
Obiettivi specifici del MA	Ambito oggetto del PMA	Localizzazione dei monitoraggi	Parametro descrittore	Frequenza/durata dei monitoraggi	Metodologia di riferimento	Valore di riferimento
VERIFICARE L'EFFICACIA ACUSTICA DEGLI INTERVENTI DI MITIGAZIONE	Valutazione degli effetti/impatti sulla popolazione	Nell'area oggetto di intervento di mitigazione, presso: -Ricettore critico (o più esposto) Altri ricettori: -ricettore sensibili; -ricettore interessati da sorgenti concorsuali; -ricettore che risentono, in negativo, della presenza dell'intervento di mitigazione -Ricettore oggetto di intervento di mitigazione diretto	LAeq, diurno e notturno, valutato sulle 24 h (dB(A))	A seguito della realizzazione dell'intervento di mitigazione. Le misure prevedono rilevamenti in continuo di almeno 24h. Le misure devono essere effettuate nei periodi più critici per i ricettori, tenendo conto della variabilità dei flussi di traffico dell'infrastruttura in esame, delle altre sorgenti presenti e dei fattori che influenzano il clima acustico nell'area di indagine.	Per la metodologia di monitoraggio del rumore ferroviario vedi sopra Metodologia definita nelle Linea guida per il controllo e il monitoraggio acustico ai fini delle verifiche di ottemperanza delle prescrizioni – Parte II “Protocollo per la verifica dell'efficacia delle mitigazioni previste nei pareri di compatibilità ambientale delle infrastrutture ferroviarie” (ISPRA MLG 100/2013) La metodologia si può applicare nei casi in cui la procedura di misura prevista dal DM 16/03/1998 non risulta di agevole attuazione (misure da eseguire all'interno di un ambiente abitativo per la verifica del rispetto dei valori limite differenziali) o nei casi in cui la verifica deve essere eseguita presso più punti ricettori.	Vedi sopra

Scheda tecnica 5 – Rumore ambito terrestre - Fase *post operam*. Infrastrutture aeroportuali

RUMORE - POST OPERAM (PO) - INFRASTRUTTURE AEROPORTUALI						
Obiettivi specifici del MA	Ambito oggetto del PMA	Localizzazione dei monitoraggi	Parametro descrittore	Frequenza/durata dei monitoraggi	Metodologia di riferimento	Valore di riferimento
VALUTARE L'ALTERAZIONE DEL CLIMA ACUSTICO RISPETTO ALLO "SCENARIO DI BASE" VERIFICARE IL RISPETTO DEI VALORI LIMITE INDIVIDUATI DALLA NORMATIVA VERIFICARE L'EFFICACIA ACUSTICA DEGLI INTERVENTI DI MITIGAZIONE	Valutazione degli effetti/impatti sulla popolazione	Per il monitoraggio del rumore aeroportuale, stazioni di tipo M, ubicate all'interno dell'intorno aeroportuale*, lungo le traiettorie di sorvolo degli aeromobili (decollo/atterraggio), prioritariamente in zona B, in prossimità di: -ricettori sensibili; -ricettori abitativi. Per il monitoraggio del rumore ambientale stazioni di tipo A, ubicate all'esterno dell'intorno aeroportuale*, in prossimità di: -ricettore sensibile; -ricettore abitativo critico. * La classificazione acustica dell'intorno aeroportuale è di competenza della Commissione aeroportuale (ex art. 5 DM 31/10/1997).	LVA, livello di valutazione del rumore aeroportuale, (dB(A)) LAeq, valutato nei due periodi di riferimento TR, diurno e notturno, (dB(A)), all'esterno dell'intorno aeroportuale	Il monitoraggio del rumore aeroportuale, finalizzato all'elaborazione del parametro descrittore LVA, è eseguito, in continuo, dall'entrata in esercizio dell'infrastruttura di progetto. Il monitoraggio del rumore ambientale (al di fuori delle zone di rispetto) è eseguito all'entrata in esercizio e nelle condizioni di esercizio di progetto dell'infrastruttura.	Il monitoraggio prevede l'acquisizione di: -parametri acustici; -parametri meteorologici; -dati di traffico aereo. I parametri meteorologici: -precipitazioni atmosferiche (mm); -direzione prevalente del vento (gradi rispetto al Nord); -velocità massima del vento (m/s); -umidità relativa dell'aria (%); -temperatura (°C). I dati di traffico aereo devono permettere di correlare l'evento sonoro al passaggio di aeromobili, operazione necessaria ai fini dalla valutazione del descrittore LVA. vedi § 15.1.8.2. I dati di traffico aereo (dati non acustici relativi ai voli) sono: Base dati voli, fornita dalla società di gestione; Tracciati radar, forniti dal fornitore dei servizi di traffico al gestore dell'aeroporto. Metodologia di misura del rumore aeroportuale: DM 31/10/1997 I parametri acustici acquisiti dalla strumentazione: LAE (SEL), LAFmax. Altri parametri acustici: Time History LAF, in alternativa Time History short LAeq. Per l'elaborazione dei parametri acustici acquisiti dalla strumentazione ai fini della determinazione dei descrittori di riferimento vedi § 15.1.8.2. Per le caratteristiche del sistema di monitoraggio del rumore aeroportuale vedi § 15.1.6.1. e § 15.1.8.2.	All'interno dell'intorno aeroportuale: Valori limite in LVA previsti per ciascuna zona di rispetto (art.6, comma 2 del DM 31/10/1997). In presenza di sovrapposizione tra fasce di pertinenza: livelli soglia (art. 4, commi 2 e 3 del DM 29/11/2000). All'esterno dell'intorno aeroportuale: Livello LVA ≤ 60 dB(A) Limiti della zonizzazione acustica comunale: Tabella C del DPCM 14/11/1997 e DPCM 1/3/1991 (art.6).

RUMORE - POST OPERAM (PO) - INFRASTRUTTURE AEROPORTUALI						
Obiettivi specifici del MA	Ambito oggetto del PMA	Localizzazione dei monitoraggi	Parametro descrittori	Frequenza/durata dei monitoraggi	Metodologia di riferimento	Valore di riferimento
					I riferimenti per la progettazione del sistema di monitoraggio del rumore aeroportuale: DM 20/5/1999 Linee guida per la progettazione e la gestione delle reti di monitoraggio acustico aeroportuale (ISPRA MLG 102/2013)	

Scheda tecnica 6 – Rumore ambito terrestre - Fase *post operam*. Siti di attività produttiva

RUMORE – POST OPERAM (PO) – SITI DI ATTIVITA' PRODUTTIVA						
Obiettivi specifici del MA	Ambito oggetto del PMA	Localizzazione dei monitoraggi	Parametro descrittori	Frequenza/durata dei monitoraggi	Metodologia di riferimento	Valore di riferimento
VALUTARE L'ALTERAZIONE DEL CLIMA ACUSTICO RISPETTO ALLO "SCENARIO DI BASE" VERIFICARE IL RISPETTO DEI VALORI LIMITE INDIVIDUATI DALLA NORMATIVA	Valutazione degli effetti/impatti sulla popolazione	In prossimità del sito di attività produttiva di progetto Secondo la seguente scala di priorità: presso ricettore sensibile (scuola, ospedale, case di cura, ecc.); presso ricettore critico e/o potenzialmente critico; presso ricettore oggetto di intervento di mitigazione; presso ricettore influenzato da altre sorgenti.	LAeq, valutato nei due periodi di riferimento TR, diurno e notturno, (dB(A)) LAeq, valutato sul tempo di misura TM, (dB(A))	All'entrata in esercizio, nelle condizioni di esercizio di progetto, nelle condizioni di esercizio più gravose per i ricettori presenti, ovvero di massima emissione sonora del sito di attività produttiva. La frequenza delle misurazioni e i periodi di effettuazione devono tenere conto della variabilità (giornaliera/stagionale/annual e) della sorgente in esame, delle altre sorgenti presenti e dei fattori che influenzano il clima acustico nell'area di indagine. La durata dei monitoraggi è funzionale all'elaborazione dei parametri descrittivi.	Il monitoraggio prevede l'acquisizione di: parametri acustici; parametri meteorologici; dati di traffico delle infrastrutture di trasporto presenti nell'area di indagine, a servizio e/o influenzate dal traffico indotto del sito di attività produttiva. I parametri meteorologici: precipitazioni atmosferiche (mm); direzione prevalente del vento (gradi rispetto al Nord); velocità massima del vento (m/s); umidità relativa dell'aria (%); temperatura (°C). I dati di traffico da acquisire dipendono dalla tipologia di infrastrutture di trasporto presenti nell'area di indagine. Per le caratteristiche del sistema di monitoraggio vedi § 15.1.6.1. I parametri acustici da acquisire, le tecniche di misura e di elaborazione dei parametri acustici acquisiti ai fini della determinazione dei descrittori: Allegato B del DM 16/3/1998. I parametri acustici acquisiti dalla strumentazione: LAeq,, LAF , LAFmax, LAFmin, LAImin , LASmin, con analisi spettrale in 1/3 d'ottava. Altri parametri: livelli percentili L10, L50, L90 Per l'elaborazione dei parametri acustici acquisiti dalla strumentazione ai fini della determinazione dei descrittori di riferimento vedi § 15.1.8.3.	Limiti della zonizzazione acustica: -limiti assoluti di immissione e di emissione: Tabella C e Tabella B DPCM 14/11/1997; -limiti di accettabilità (DPCM 01/03/1991) Limiti differenziali di immissione: DPCM 14/11/1997
VERIFICARE L'EFFICACIA ACUSTICA DEGLI INTERVENTI DI MITIGAZIONE	Valutazione degli effetti/impatti sulla popolazione	Nell'area oggetto di intervento di mitigazione, presso: Ricettore critico (o più esposto) Altri ricettori: ricettore sensibile; ricettore interessato da sorgenti concorsuali;	LAeq, valutato nei due periodi di riferimento TR, diurno e notturno, (dB(A)) LAeq, valutato sul tempo di misura TM, (dB(A))	A seguito della realizzazione dell'intervento di mitigazione. Le misure devono essere effettuate nei periodi più critici per i ricettori, ovvero di massima emissione sonora del sito di attività produttiva, tenendo conto delle altre	Per la metodologia di monitoraggio vedi sopra Metodologia definita nelle Linea guida per il controllo e il monitoraggio acustico ai fini delle verifiche di ottemperanza delle prescrizioni – Parte III "Protocollo per la verifica dell'efficacia delle mitigazioni previste nei pareri di compatibilità	Vedi sopra

RUMORE – POST OPERAM (PO) - SITI DI ATTIVITA' PRODUTTIVA						
Obiettivi specifici del MA	Ambito oggetto del PMA	Localizzazione dei monitoraggi	Parametro descrittori	Frequenza/durata dei monitoraggi	Metodologia di riferimento	Valore di riferimento
		ricettore che risente, in negativo, della presenza dell'intervento di mitigazione Ricettore oggetto di intervento di mitigazione diretto		sorgenti presenti e dei fattori che influenzano il clima acustico nell'area di indagine. La durata dei monitoraggi è funzionale all'elaborazione dei parametri descrittivi.	ambientale di grandi opere "(ISPRA MLG 100/2013) La metodologia si può applicare nei casi in cui la procedura di misura prevista dal DM 16/03/1998 non risulta di agevole attuazione (misure da eseguire all'interno di un ambiente abitativo per la verifica del rispetto dei valori limite differenziali) o nei casi in cui la verifica deve essere eseguita presso più punti ricettori.	

Scheda tecnica 7 – Rumore ambito terrestre - Fase *post operam* - Impianti eolici

RUMORE – POST OPERAM (PO) - IMPIANTI EOLICI						
Obiettivo specifico del PMA	Ambito oggetto del PMA	Localizzazione dei monitoraggi	Parametro descrittore	Frequenza/durata dei monitoraggi	Metodologia di riferimento	Valore di riferimento
VALUTARE L'ALTERAZIONE DEL CLIMA ACUSTICO RISPETTO ALLO "SCENARIO DI BASE" VERIFICARE IL RISPETTO DEI VALORI LIMITE INDIVIDUATI DALLA NORMATIVA VERIFICARE L'EFFICACIA ACUSTICA DEGLI INTERVENTI DI MITIGAZIONE	Valutazione degli effetti/impatti sulla popolazione	In prossimità dell'impianto eolico di progetto Secondo la seguente scala di priorità: presso ricettore sensibile (scuola, ospedale, case di cura); presso ricettore critico e/o potenzialmente critico; presso ricettore oggetto di intervento di mitigazione; presso ricettore influenzato da altre sorgenti.	LAeq, valutato nei due periodi di riferimento TR, diurno e notturno, (dB(A)) LAeq, valutato sul tempo di misura TM, (dB(A)). I descrittori acustici sono elaborati attraverso misure di lungo termine	All'entrata in esercizio, nelle condizioni di esercizio di progetto, nelle condizioni di esercizio più gravose per i ricettori presenti, ovvero di massima emissione sonora dell'impianto eolico di progetto I periodi di effettuazione devono tenere conto della variabilità della sorgente in esame al variare delle condizioni meteorologiche. Per una corretta pianificazione della campagna di misura, è necessario disporre della caratterizzazione anemologica del sito. Le misure devono essere eseguite per un periodo sufficientemente lungo. La durata delle misure dipende dalla tipologia di impianto, dalla presenza di altri impianti eolici e dalla fattibilità operativa di spegnere gli aerogeneratori potenzialmente impattanti durante la campagna di misure.	Il monitoraggio prevede la simultanea acquisizione dei parametri acustici e dei parametri meteorologici per tutta la durata della misura. Per le caratteristiche del sistema di monitoraggio sono riportate nell'Allegato 1 del DM 1° giugno 2022. I parametri acustici e meteorologici da acquisire, le tecniche di misura e di elaborazione ai fini della determinazione dei descrittori sono dettagliati negli allegati del DM 1° giugno 2022: Allegato 1 – Norme tecniche per l'esecuzione delle misure. Allegato 2 – Procedura che prevede lo spegnimento degli aerogeneratori potenzialmente impattanti. Allegato 3 – Procedura che non prevede lo spegnimento degli aerogeneratori potenzialmente impattanti. Per l'elaborazione dei parametri acustici acquisiti dalla strumentazione ai fini della determinazione dei descrittori di riferimento vedi § 15.1.8.4.	Nelle more dell'emanazione del Regolamento specifico: Valori limite assoluti di immissione (Tabella C) e valori limite di emissione (Tabella B) del DPCM 14/11/1997, stabiliti dai Piani comunali di classificazione acustica. In assenza di Piano di classificazione acustica, limiti di accettabilità (art.6 DPCM 01/03/1991). Valori limite differenziali di immissione (art.4 DPCM 14/11/1997) con le seguenti specifiche: la valutazione va effettuata in facciata agli edifici; le soglie di applicabilità vanno verificate in esterno.

15.2 Rumore subacqueo

La realizzazione di opere e altri interventi progettuali condotti in ambiente acquatico possono alterare i livelli di rumore subacqueo, interferendo con il comportamento e l'ecologia delle specie animali presenti (Dekeling et al., 2014).

A differenza di altre forme di energia immesse dall'uomo nell'ambiente, come l'energia elettromagnetica, luminosa e termica le cui alterazioni sono generalmente localizzate vicino alla sorgente di inquinamento, l'energia acustica, una volta immessa nel mezzo acquatico, si propaga ad una velocità tre volte maggiore rispetto all'aria, per lunghissime distanze.

Le particolari proprietà fisiche del suono lo hanno reso uno strumento essenziale per le specie acquatiche ed in particolare marine, grazie al quale possono svolgere funzioni vitali quali la comunicazione (sia all'interno della stessa specie che tra specie diverse), la riproduzione, la delimitazione del territorio e l'orientamento spaziale. L'aumento dei livelli di rumore sottomarino generato dalle attività umane può, pertanto, provocare danni alle specie ed i suoi effetti possono estendersi anche in aree molto lontane rispetto alla sorgente, in relazione alle caratteristiche di propagazione del rumore (Borsani et al., 2015).

Di seguito un elenco delle specie mediterranee sensibili ai suoni sulla base della bibliografia scientifica attualmente disponibile (Dekeling et al., 2014; Di Franco et al., 2020):

- invertebrati (Cephalopodi: *Loligo vulgaris*, *Octopus vulgaris*, *Sepia officinalis*; Bivalvi: *Mytilus galloprovincialis*, *Mytilus edulis*, *Ostrea* ss.; Crostacei: *Palinurus elephas*, *Nephrops norvegicus*);
- pesci ossei (*Alosa alosa*, *Chelon labrosus*, *Dicentrarchus labrax*, *Gobius cruentatus* - gobidae, *Pleuronectes platessa*, *Sciaena umbra*, *Scomber scombrus*, *Scorphaena porcus*, *Solea solea*, *Sparus aurata*, *Thunnus thynnus*);
- rettili marini (*Caretta caretta*, *Chelonia mydas*, *Dermochelys coriacea*);
- mammiferi marini (*Balaenoptera physalus*, *Physeter macrocephalus*, *Tursiops truncatus*, *Stenella coeruleoalba*, *Delphinus delphis*, *Grampus griseus*, *Globicephala melas*, *Ziphius cavirostris*, *Steno bredanensis* e il pinnipede *Monachus monachus*).

I suoni antropogenici possono essere distinti in base alla durata in impulsivi (breve durata) o continui (di lunga durata), ma la ripetizione di emissione nel tempo (duty cycle) e le frequenze di emissione modificano la scala di impatto nel tempo e nello spazio. Gli impatti sugli organismi marini possono avere, di conseguenza, entità diverse a seconda della durata del periodo di esposizione al disturbo, manifestando effetti acuti oppure permanenti o cronici, quando l'esposizione è prolungata nel tempo. Tali effetti possono essere categorizzati come:

- fisiologici (ad es. aumento dei livelli di stress, aumento dei tassi di ventilazione, del tasso metabolico, alterazioni nell'accrescimento, tasso di respirazione, effetti a livello di trascrizione proteica);
- comportamentali (ad es. alterazione alla risposta predatoria, alterazioni nel nuoto, reazioni di fuga);
- mascheramento dei segnali acustici;
- riduzione temporanea o permanente della sensibilità uditiva (rispettivamente definite come *Temporary Threshold Shift* - TTS e *Permanent Threshold Shift* - PTS)²⁴;
- mortali.

L'analisi, nell'ambito delle Valutazioni di Impatto Ambientale per la realizzazione di opere che coinvolgono ambienti acquatici, dei potenziali impatti legati all'immissione di rumore sulla fauna subacquea è, dunque, necessaria al fine di stabilire la compatibilità ambientale dei progetti proposti e di tutelare la conservazione delle specie sensibili, a rischio di estinzione e di interesse comunitario ad essi sottoposti. Il monitoraggio dei

²⁴ Per le specie protette, di interesse comunitario e per le specie di mammiferi marini elencati nell'allegato IV della Direttiva Habitat (92/43/CEE), che richiedono una protezione rigorosa così come previsto dall'art. 12 della suddetta normativa comunitaria, non possono essere ammessi incrementi di rumore sottomarino che determinino il raggiungimento di livelli tali da causare TTS, PTS o morte e, pertanto, i livelli a cui è necessario fare riferimento sono quelli di disturbo comportamentale.

livelli del rumore subacqueo, condotto nelle diverse fasi dell'opera, garantisce la verifica delle valutazioni eseguite dal Proponente e permette di individuare eventuali misure di mitigazione aggiuntive.

15.2.1 Obiettivi specifici del monitoraggio ambientale

L'obiettivo del monitoraggio del rumore subacqueo nell'ambito del PMA è quello di verificare le previsioni del SIA circa l'aumento dei livelli di energia acustica introdotta nell'ambiente e dei relativi impatti sulla fauna presente, sia in fase di cantiere che di esercizio dell'opera.

Il monitoraggio dei livelli di rumore subacqueo avverrà attraverso il campionamento dei livelli dei suoni intermittenti e dei suoni continui.

I dati ottenuti attraverso il monitoraggio nell'ambito del PMA sono funzionali anche alla compilazione, da parte di ISPRA su dati forniti dal Proponente, del Registro Nazionale dei suoni impulsivi, previsto nell'ambito della Strategia Marina (ex D.Lgs. 190/2010 di recepimento della Direttiva Quadro della Strategia Marina 2008/56/CE). Il Registro, in relazione al criterio della Strategia Marina D11C1, deve essere implementato per ogni attività che coinvolge l'emissione di segnali impulsivi, comunicando le seguenti informazioni:

- Posizione (lat/long poligono);
- Durata (data inizio – data fine) operazioni;
- Proprietà della sorgente acustica;
- Essenziale (minimo): livello sonoro sorgente (L_s) o proxy, espresso in (dB re 1 µPa);
- Aggiuntivo se disponibile: spettri sorgente; *duty cycle*; durata trasmissione (*time on/time off*); direttività; profondità sorgente; velocità piattaforma.

15.2.2 Ambito oggetto del monitoraggio ambientale

15.2.2.1 Ambito normativo

I parametri da monitorare nel PMA sono previsti nell'ambito della Direttiva Quadro per la Strategia Marina (*Marine Strategy Framework Directive – MSFD*, 2008/56/CE), recepita in Italia dal D.Lgs. 190/2010. Fra i descrittori da utilizzare per la valutazione del conseguimento del Buono Stato Ambientale (*Good Environmental Status – GES*), individua anche la pressione antropica legata all'immissione di energia in ambiente marino. Il Descrittore 11 della MSFD, infatti, prevede che *“l'introduzione di energia, comprese le fonti sonore sottomarine, è a livelli che non hanno effetti negativi sull'ambiente marino”*. La successiva Decisione UE 2017/848 della Commissione del 17 maggio 2017 individua i due criteri che definiscono i requisiti per valutare il raggiungimento del GES per il Descrittore 11:

1. Criterio MSFD D11C1: La distribuzione territoriale, l'estensione temporale e i livelli dei suoni intermittenti di origine antropica non superano livelli che hanno effetti negativi sulle popolazioni degli animali marini;
2. Criterio MSFD D11C2: La distribuzione territoriale, l'estensione temporale e i livelli dei suoni continui a bassa frequenza di origine antropica non superano livelli che hanno effetti negativi sulle popolazioni degli animali marini.

15.2.2.2 Ambito di indagine

Porzione delle acque marine, lagunari o interne in cui si propaga il fattore pressione, generato da una o più attività progettuali sia in fase di cantiere che di esercizio dell'opera, in riferimento alla presenza di recettori sensibili (fauna marina). La localizzazione e l'estensione dell'area da indagare deve essere definita in coerenza con l'area vasta e l'area di sito individuata nel SIA, stimata mediante adeguati modelli di propagazione (si veda al riguardo il successivo paragrafo 15.2.6) o da eventuali condizioni ambientali impartite nel Decreto autorizzativo.

15.2.3 Localizzazione delle aree di indagine e dei punti di monitoraggio

Le aree di indagine, in cui localizzare i punti di registrazione dei livelli sonori, devono essere definite in coerenza con quanto previsto nel SIA sulla base dei risultati dei modelli di propagazione. Il numero delle stazioni di misura deve garantire una copertura statistica significativa.

Per tutte le fasi, per opere che producono rumore subacqueo durante la fase di esercizio, il posizionamento delle stazioni di misura è riportato nel paragrafo 15.2.6.

15.2.4 Parametri descrittivi (indicatori)

Al fine di raggiungere gli obiettivi specifici del monitoraggio ambientale precedentemente indicati e, in particolare, valutare gli effetti/impatti del rumore sottomarino su ecosistemi e/o singole specie, sarà necessario fare riferimento ai descrittori dei livelli sonori di esposizione per le frequenze di interesse, che dipendono dalle specie sensibili presenti nell'area, e tener conto delle frequenze previste dal monitoraggio secondo la Direttiva Quadro per la Strategia Marina, come di seguito riportate:

- per il monitoraggio dei suoni intermittenti/impulsivi (Criterio MSFD D11C1): suono intermittente descritto come livello di pressione acustica di una fonte unica misurato in unità di dB re $1\mu\text{Pa}^2\text{ s}$ o come livello di pressione acustica da zero al picco in unità di dB re $1\mu\text{Pa}$ m, in entrambi i casi sulla banda di frequenza da 10 Hz a 10 kHz;
- per il monitoraggio dei suoni continui (Criterio MSFD D11C2): media della pressione sonora al quadrato in due bande di terzo di ottava, una centrata a 63 Hz, l'altra a 125 Hz, espressa come livello di decibel in unità di dB re $1\mu\text{Pa}$, ad un'adeguata risoluzione spaziale in relazione alla pressione. Questa media può essere misurata direttamente o dedotta da un modello usato per interpolazione tra le misurazioni o estrapolato da esse.

In generale, per i descrittori dei livelli sonori e di esposizione per le frequenze di interesse, la normativa di riferimento (ISO18405-2017 *Underwater acoustics – Terminology*) individua, i parametri di seguito indicati:

- Livello di pressione sonora (*sound pressure level*/ L_p), espresso in dB re $1\mu\text{Pa}$;
- Livello di esposizione sonora (*sound exposure level*/ L_E), espresso in dB re $1\mu\text{Pa}^2\text{ s}$.

15.2.5 Frequenza e durata dei monitoraggi

Per le lavorazioni a mare previste durante i cantieri e l'esercizio dell'opera è necessario prevedere attività di monitoraggio ambientale nelle fasi *ante operam*, in corso d'opera, *post operam* ed eventuale dismissione, in modo da coprire tutte le stagioni.

Nella fase *ante operam*, si dovrà prevedere almeno 1 misurazione prima della realizzazione del cantiere, durante i periodi di riproduzione e/o migrazione delle specie da tutelare. La durata della misura sarà in funzione dei due parametri descrittivi.

Durante la fase di corso d'opera, l'attività di monitoraggio verrà programmata in funzione dell'attività del cantiere. La durata complessiva dell'attività di monitoraggio è pari alla durata prevista per la completa realizzazione dell'opera in esame.

Nella fase *post operam* devono essere eseguite due campagne di misurazioni/anno:

- una in condizione di acque estive (orientativamente mese di settembre-ottobre);
- una in condizione di acque invernali (orientativamente mese di gennaio/febbraio).

15.2.6 Metodologie di riferimento/tecniche di misura

In relazione alla misurazione dei suoni intermittenti (Criterio MSFD D11C1) è necessario che, per ogni attività che coinvolge l'emissione di segnali impulsivi, vengano indicate le informazioni relative a quanto esplicitato nella Tabella 15.1. È necessario effettuare una caratterizzazione acustica subacquea delle diverse attività al fine di monitorare e controllare i livelli di energia sonora emessi, valutando l'estensione dell'introduzione di energia anche attraverso l'utilizzo di modelli di propagazione.

In relazione alla misurazione dei suoni continui (Criterio MSFD D11C2) è necessario che per ogni attività che coinvolge mezzi navali nonché attività di costruzione e installazione di strutture, e/o attività perforative, venga inserita la caratterizzazione acustica subacquea dei suoni a bassa frequenza prima, durante e al termine delle diverse attività, al fine di monitorare e controllare i livelli di energia sonora emessi, valutando l'estensione dell'introduzione di energia anche attraverso l'utilizzo di modelli di propagazione (Tabella 15.1).

L'utilizzo dei modelli di propagazione dovrà seguire le indicazioni riportate nella Tabella 15.1. Tali modelli permetteranno di identificare l'area di influenza (area vasta) sulla quale definire le azioni di monitoraggio ed eventuale mitigazione.

Tab. 15.1 – Applicabilità dei più comuni modelli di propagazione acustica in base alla profondità e alla frequenza di interesse (rielaborata da Borsani et al., 2015).

Zona epipelagica - bassa frequenza	Zona epipelagica - alta frequenza	Zona meso e batipelagica - bassa frequenza	Zona meso e batipelagica - alta frequenza
Ray theory	Ray theory	Ray theory	Ray theory
Normal mode	Normal mode	Normal mode	Normal mode
Wave number integration	Wave number integration	Wave number integration	Wave number integration
Parabolic equation	Parabolic equation	Parabolic equation	Parabolic equation
Energy flux	Energy flux	Energy flux	Energy flux
Verde – adatto Giallo – adatto con limitazioni Rosso – non adatto/non applicabile			

Per tutte le fasi, per ogni campagna, è necessario effettuare 2 misurazioni a diversa profondità in 4 punti di registrazione.

I 4 punti di registrazione devono essere:

- a distanza 0 (minima distanza possibile dall'opera);
- 750 m dal punto 0;
- 1500 m dal punto 0;
- 3000 m dal punto 0.

Le registrazioni, per ogni misurazione, devono avere una durata di almeno 20 minuti, utilizzando una frequenza di campionamento di 48 kHz e una risoluzione di almeno 16 bit.

La taratura dello strumento deve essere effettuata per ogni campagna di misurazione.

Gli strumenti e le metodologie di campionamento devono essere definiti sulla base di quanto previsto in Dekeling et al., 2014.

15.2.7 Valori di riferimento

Nel corso del 2023, nell'ambito della Direttiva Quadro per la Strategia Marina, la Commissione Europea ha fissato i criteri per definire i valori soglia (TVs) per il buono stato ambientale per il rumore intermittente (Criterio MSFD D11C1; Sigray et al., 2023) e per il rumore continuo (Criterio MSFD D11C2; Borsani et al., 2023), proposte dal TGNoise (Technical Group on underwater noise della Common Implementation Strategy per la Strategia Marina – CIS) in funzione dei valori di LOBE (Level of Onset of Biological Adverse Effects) ammissibili (Tabella 15.2).

Tab. 15.2 – Valori soglia (TVs) consigliati dal TGNoise per il rumore intermittente/impulsivo (Criterio MSFD D11C1; Sigray et al., 2023) e per il rumore continuo Criterio MSFD D11C2; Borsani et al., 2023).

Valori soglia (TVs) consigliati dal TGNoise per il rumore intermittente/impulsivo	
Per una esposizione a breve termine la proporzione massima che sarà possibile esporre a valori superiori al LOBE è del 20% o inferiore ($\leq 20\%$)	
Per una esposizione a lungo termine la proporzione massima che sarà possibile esporre a valori superiori al LOBE è del 10% o inferiore ($\leq 10\%$)	
Valori soglia (TVs) consigliati dal TGNoise per il rumore continuo	
Il 20% o inferiore ($\leq 20\%$) dell'habitat delle specie indicatore non potrà mai mostrare livelli di rumore superiori al LOBE in ogni mese dell'anno di valutazione	

I valori soglia per il rumore subacqueo, riferiti all'ambiente marino, sono stati adottati dalla Commissione Europea con la "Comunicazione della Commissione sui valori di soglia fissati dalla Direttiva Quadro sulla Strategia per l'ambiente marino 2008/56/CE e dalla Decisione (UE) 2017/848 della Commissione" (C/2024/2078) (GU C dell'11.3.2024 IT) (Tabella 15.3).

Tab. 15.3 – valori soglia fissati dalla Commissione Europea nell'ambito della Direttiva Quadro sulla Strategia Marina per i suoni intermittenti/impulsivi (criterio della MSFD D11C1) e per i suoni continui (criterio della MSFD D11C2) in ambito marino (estratto della GU C dell'11.3.2024 IT).

D11C1 Suono intermittente	Per l'esposizione a breve termine (un giorno, ossia esposizione giornaliera), la percentuale massima di una superficie di valutazione/habitat utilizzata da una specie di interesse che si accetta sia esposta a livelli di suono intermittente superiori al livello a cui si iniziano a risentire effetti biologici negativi (livello LOBE, <i>Level of Onset of Biologically adverse Effects</i>) nell'arco di un giorno è pari o inferiore al 20 % ($\leq 20\%$). Per l'esposizione a lungo termine (un anno), si calcola l'esposizione media. La percentuale massima di una superficie di valutazione/habitat utilizzata da una specie di interesse che si accetta sia esposta a livelli di suono intermittente superiori al livello LOBE nell'arco di un anno in media è pari o inferiore al 10 % ($\leq 10\%$).
D11C2 Suono continuo	Il 20 % dell'habitat delle specie bersaglio con livelli di rumore superiori al livello LOBE che non devono essere superati in nessun mese dell'anno di valutazione, in accordo con l'obiettivo di conservazione dell'80 % della capacità di carico/dimensione dell'habitat.

La normativa di settore non ha stabilito soglie relative alla riduzione temporanea (*Temporary Threshold Shift – TTS*) o permanente (*Permanent Threshold Shift- PTS*) della sensibilità uditiva e ad alterazioni comportamentali per i mammiferi marini esposti a rumore impulsivo e non impulsivo. È possibile, pertanto, fare riferimento a quanto indicato nei seguenti studi:

- Borsani, J.F. & Farchi, C., 2011. Linee guida per lo studio e la regolamentazione del rumore di origine antropica introdotto in mare e nelle acque interne (Parte II). Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale.
- Southall, B.L., Bowles, A.E., Ellison, W.T., Finneran, J.J., Gentry, R.L., Greene Jr., C.R., Kastak, D., Ketten, D.R., Miller, J.H., Nachtigall, P.E., Richardson, W. J., Thomas, J.A. & P.L. Tyack, 2007. Marine Mammal Noise Exposure Criteria: Initial Scientific Recommendations. Aquatic Mammals, Vol 33(4) 121pp.
- Southall, B. L., Finneran, J. J., Reichmuth, C., Nachtigall, P. E., Ketten, D. R., Bowles, A. E., ... & Tyack, P. L., 2019. Marine mammal noise exposure criteria: Updated scientific recommendations for residual hearing effects. Aquatic Mammals, 45(2), 125-232.

Per i pesci e le tartarughe marine, può essere fatto riferimento alle seguenti pubblicazioni scientifiche:

- Popper, A. N., Hawkins, A. D., Fay, R. R., Mann, D. A., Bartol, S., Carlson, T. J., ... & Tavolga, W. N., 2014. Sound exposure guidelines (pp. 33-51). Springer International Publishing.
- Popper, A.N., Hawkins, A.D. & Halvorsen, M. B., 2019. Anthropogenic sound and fishes. The State of Washington Department of Transportation. <https://www.wsdot.wa.gov/research/reports/fullreports/891-1.pdf>

15.2.8 Bibliografia

Borsani, J.F. & Farchi, C., 2011. Linee guida per lo studio e la regolamentazione del rumore di origine antropica introdotto in mare e nelle acque interne (Parte II). Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale.

Borsani, J.F., Faulkner, R., Merchant, N., 2015. Impacts of noise and use of propagation models to predict the recipient side of noise. 10.13140/RG.2.1.1512.5841.

Borsani, J.F., Andersson M., André M., Azzellino A., Bou M., Castellote M. *et al.*, 2023. Setting EU Threshold Values for continuous underwater sound, Technical Group on Underwater Noise (TG NOISE), MSFD Common Implementation Strategy. Edited by Jean-Noël Druon, Georg Hanke and Maud Casier, Publications Office of the European Union, Luxembourg, doi:10.2760/690123, JRC133476.

Dekeling, R.P.A., Tasker, M.L., Van der Graaf, A.J., Ainslie, M.A., Andersson, M.H., André, M., Borsani, J.F., Brensing, K., Castellote, M., Cronin, D., Dalen, J., Folegot, T., Leaper, R., Pajala, J., Redman, P., Robinson, S.P., Sigra, P., Sutton, G., Thomsen, F., Werner, S., Wittekind, D., Young, J.V., 2014. Monitoring Guidance for Underwater Noise in European Seas, Part II: Monitoring Guidance Specifications. JRC Scientific and Policy Report EUR 26555 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2014, doi: 10.2788/27158.

Di Franco E., Pierson P., Di Iorio L., Calò A., Cottalorda J.M., Derijard B., Di Franco A., Galvé A., Guibbolini M., Lebrun J., Micheli F., Priouzeau F., Rizzo-de Faverney C., Rossi F., Sabourault C., Spennato G., Verrando P., Guidetti P., 2020. Effects of marine noise pollution on Mediterranean fishes and invertebrates: A review. *Marine Pollution Bulletin*, Volume 159, 2020, 111450. ISSN 0025-326X, <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111450>. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0025326X20305683>.

Popper, A. N., Hawkins, A. D., Fay, R. R., Mann, D. A., Bartol, S., Carlson, T. J., ... & Tavolga, W. N., 2014. Sound exposure guidelines (pp. 33-51). Springer International Publishing.

Popper, A.N., Hawkins, A.D. & Halvorsen, M. B., 2019. Anthropogenic sound and fishes. The State of Washington Department of Transportation. <https://www.wsdot.wa.gov/research/reports/fullreports/891-1.pdf>.

Sigra P., Andersson M., André M., Azzellino A., Borsani J.F., Bou M. *et al.* 2023. Setting EU Threshold Values for impulsive underwater sound, Technical Group on Underwater Noise (TG NOISE), MSFD Common Implementation Strategy. Edited by Jean-Noël Druon, Georg Hanke and Maud Casier, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2023, doi:10.2760/60215, JRC133477.

Southall, B.L., Bowles, A.E., Ellison, W.T., Finneran, J.J., Gentry, R.L., Greene Jr., C.R., Kastak, D., Ketten, D.R., Miller, J.H., Nachtigall, P.E., Richardson, W. J., Thomas, J.A. & P.L. Tyack, 2007. Marine Mammal Noise Exposure Criteria: Initial Scientific Recommendations. *Aquatic Mammals*, Vol 33(4) 121pp.

Southall, B. L., Finneran, J. J., Reichmuth, C., Nachtigall, P. E., Ketten, D. R., Bowles, A. E., ... & Tyack, P. L., 2019. Marine mammal noise exposure criteria: Updated scientific recommendations for residual hearing effects. *Aquatic Mammals*, 45(2), 125-232.

15.2.9 Scheda tecnica

Riassunto dei valori soglia di riferimento per stabilire le condizioni di TTS (*Temporary Threshold Shift*), PTS (*Permanent Threshold Shift*), effetti comportamentali e *masking*. Per alcune categorie il valore soglia di riferimento non è possibile ottenerlo per la mancanza di evidenza scientifica. In questi casi vengono adottate tre categorie di rischio in base alla distanza della specie target dalla sorgente, se questa si trova Vicino (V) (ordine di una decina di metri dalla sorgente), a una distanza Intermedia (I) (nell'ordine di un centinaio di metri), o Lontana (L) (nell'ordine di migliaia di metri). Nella tabella sono citate le seguenti unità di misura: Lp (*sound pressure level*), Lp, pk (*peak sound pressure level*), Lp, rms (*rms sound pressure level*), LE (*sound exposure level*), LE-cum (*sound exposure level* cumulativo), RL (*received level*). I livelli di pressione sonora (Lp) sono misurati in dB re 1 μ Pa, mentre i livelli di esposizione sonora (LE) sono misurati in (dB re 1 μ Pa²·s) (<https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:18405:ed-1:v1:en>). Per la definizione dei gruppi funzionali dei cetacei divisi per sensibilità uditiva si veda Tabella 15.4 "Specifiche rumore subacqueo".

RUMORE SUBACQUEO							
Obiettivi specifici del MA	Tipologia animale – gruppo funzionale	Tipologia parametro	Valore limite	Unità di misura	Localizzazione dei monitoraggi	Frequenza/Durata dei monitoraggi	Metodologia
Monitoraggio dei suoni impulsivi	Cetacei – bassa frequenza	TTS onset	213	Lp,pk (unweighted) (dB re 1 μ Pa)	Rispetto alla distanza 0 (minima distanza possibile dall'opera) effettuare 2 misurazioni a diversa profondità per ogni punto di registrazione. I 4 punti di registrazione devono essere a distanza 0; 750 m dal punto 0; 1500 m dal punto 0; 3000 m dal punto 0. (procedura valida per sia per i suoni impulsivi che continui)	Nelle fasi - <i>ante operam</i> , - in corso d'opera, - <i>post operam</i> , -eventuale dismissione Fase <i>ante operam</i> : Almeno 1 misurazione prima della realizzazione del cantiere, durante i periodi di riproduzione e/o migrazione delle specie da tutelare. Fase di cantiere (corso d'opera): L'attività di monitoraggio è programmata in funzione dell'attività del cantiere. La durata complessiva dell'attività di monitoraggio è pari alla durata prevista per la completa	Le registrazioni, per ogni misurazione, devono avere una durata di almeno 20 minuti, utilizzando una frequenza di campionamento di 48 kHz e una risoluzione di almeno 16 bit. La taratura dello strumento deve essere effettuata per ogni campagna di misurazione. Per ulteriori dettagli fare riferimento a: - Dekeling, R. P. A., Tasker, M. L., Van der Graaf, A. J., Ainslie, M. A., Andersson, M. H., André, M., ... & Young, J. V. (2014). Monitoring Guidance for Underwater Noise in European Seas (Part I - executive summary. https://dx.doi.org/10.2788/29293
		PTS onset	219	Lp,pk (unweighted) (dB re 1 μ Pa)			
		Effetti comportamentali	120	dB re: 1 μ Pa RL (rms/pulse duration)			
	Cetacei – alta frequenza	TTS onset	224	Lp,pk (unweighted) (dB re 1 μ Pa)			
		PTS onset	230	Lp,pk (unweighted) (dB re 1 μ Pa)			
		Effetti comportamentali	90-180	dB re: 1 μ Pa RL (rms/pulse duration)			
	Cetacei – frequenza molto alta	TTS onset	196	Lp,pk (unweighted) (dB re 1 μ Pa)			
		PTS onset	202	Lp,pk (unweighted) (dB re 1 μ Pa)			
		Effetti comportamentali	90-140	dB re: 1 μ Pa RL (rms/pulse duration)			
	Focidi	TTS onset	212	Lp,pk (unweighted) (dB re 1 μ Pa)			
		PTS onset	218	Lp,pk (unweighted) (dB re 1 μ Pa)			
		Effetti comportamentali	110-120	dB re: 1 μ Pa RL (rms/pulse duration)			
	Pesci- no vescica natatoria	Morte e potenziali danni mortali	219	dB LE-cum (dB re 1 μ Pa ² ·s)			

RUMORE SUBACQUEO

Obiettivi specifici del MA	Tipologia animale – gruppo funzionale	Tipologia parametro	Valore limite	Unità di misura	Localizzazione dei monitoraggi	Frequenza/Durata dei monitoraggi	Metodologia
	<i>(sensibili al particle motion)</i>		213	L _{p,pk} (dB re 1 µPa)		realizzazione dell'opera in esame. Fase di esercizio (<i>post operam</i>): Il monitoraggio deve essere eseguito secondo le seguenti modalità: Effettuare due campagne di misurazioni/anno: • 1 in condizione di acque estive (orientativamente mese di settembre-ottobre); • 1 in condizione di acque invernali (orientativamente mese di gennaio/febbraio). (procedura valida per sia per i suoni impulsivi che continui)	- Dekeling, R. P. A., Tasker, M. L., Van der Graaf, A. J., Ainslie, M. A., Andersson, M. H., André, M., ... & Young, J. V. (2014). Monitoring Guidance for Underwater Noise in European Seas. Part II: Monitoring Guidance Specifications. https://dx.doi.org/10.2788/27158
		Danni recuperabili	216	dB L _{E-cum} (dB re 1 µPa ² -s)			
			213	L _{p,pk} (dB re 1 µPa)			
		TTS onset	186	dB L _{E-cum} (dB re 1 µPa ² -s)			
		Masking	(V) Moderato (I) Basso (L) Basso	Rischio relativo			
		Effetti comportamentali	(V) Alto (I) Moderato (L) Basso	Rischio relativo			
	Pesci- con vescica natatoria ma non coinvolta nella percezione di suoni (<i>sensibili al particle motion</i>)	Morte e potenziali danni mortali	210	dB L _{E-cum} (dB re 1 µPa ² -s)			- Dekeling, R. P. A., Tasker, M. L., Van der Graaf, A. J., Ainslie, M. A., Andersson, M. H., André, M., ... & Young, J. V. (2014). Monitoring Guidance for Underwater Noise in European Seas. Part III: Background information and annexes. https://dx.doi.org/10.2788/2808
			207	L _{p,pk} (dB re 1 µPa)			
		Danni recuperabili	203	dB L _{E-cum} (dB re 1 µPa ² -s)			
			207	L _{p,pk} (dB re 1 µPa)			
		TTS onset	186	dB L _{E-cum} (dB re 1 µPa ² -s)			
		Masking	(V) Moderato (I) Basso (L) Basso	Rischio relativo			
		Effetti comportamentali	(V) Alto (I) Moderato (L) Basso	Rischio relativo			- Robinson, S.P.; Lepper, P. A. and Hazelwood, R.A. (2014) Good Practice Guide for Underwater Noise Measurement. Teddington, England, National Measurement Office, Marine Scotland, The Crown Estate, 95pp. (NPL Good Practice Guide No. 133). DOI: http://dx.doi.org/10.25607/OBP-21
	Pesci- con vescica natatoria e deputata alla percezione di suoni	Morte e potenziali danni mortali	207	dB L _{E-cum} (dB re 1 µPa ² -s)			
			207	L _{p,pk} (dB re 1 µPa)			
		Danni recuperabili	203	dB L _{E-cum} (dB re 1 µPa ² -s)			
			207	L _{p,pk} (dB re 1 µPa)			
		TTS onset	186	dB L _{E-cum} (dB re 1 µPa ² -s)			
		Masking	(V) Alto (I) Alto (L) Moderato	Rischio relativo			
		Effetti comportamentali	(V) Alto (I) Moderato (L) Basso	Rischio relativo			
			210	dB L _{E-cum}			

RUMORE SUBACQUEO

Obiettivi specifici del MA	Tipologia animale – gruppo funzionale	Tipologia parametro	Valore limite	Unità di misura	Localizzazione dei monitoraggi	Frequenza/Durata dei monitoraggi	Metodologia
	Tartarughe marine	Morte e potenziali danni mortali		(dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\cdot\text{s}$)			
			207	$L_{p,pk}$ (dB re 1 μPa)			
		Danni recuperabili	(V) Alto (I) Basso (L) Basso	Rischio relativo			
		TTS onset	(V) Alto (I) Basso (L) Basso	Rischio relativo			
		Masking	(V) Alto (I) Moderato (L) Basso	Rischio relativo			
		Effetti comportamentali	(V) Alto (I) Moderato (L) Basso	Rischio relativo			
	Uova e larve	Morte e potenziali danni mortali	210	$\text{dB } L_{E-cum}$ (dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\cdot\text{s}$)			
			207	$L_{p,pk}$ (dB re 1 μPa)			
		Danni recuperabili	(V) Moderato (I) Basso (L) Basso	Rischio relativo			
		TTS onset	(V) Moderato (I) Basso (L) Basso	Rischio relativo			
		Masking	(V) Moderato (I) Basso (L) Basso	Rischio relativo			
		Effetti comportamentali	(V) Moderato (I) Basso (L) Basso	Rischio relativo			
Monitoraggio dei suoni continui	Cetacei - bassa frequenza	TTS onset	224	$L_{p,pk}$ (unweighted) (dB re 1 μPa)			
			195	L_E (unweighted) (dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\cdot\text{s}$)			
		PTS onset	230	$L_{p,pk}$ (unweighted) (dB re 1 μPa)			
			215	L_E (unweighted) (dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\cdot\text{s}$)			
		Effetti comportamentali	100-110	dB re: 1 μPa RL (rms/pulse duration)			
		TTS onset	224	$L_{p,pk}$ (unweighted)			

RUMORE SUBACQUEO

Obiettivi specifici del MA	Tipologia animale – gruppo funzionale	Tipologia parametro	Valore limite	Unità di misura	Localizzazione dei monitoraggi	Frequenza/Durata dei monitoraggi	Metodologia
	Cetacei – alta frequenza			(dB re 1 μPa)			
			195	L _E (unweighted) (dB re 1 μPa ² ·s)			
		PTS onset	230	L _{p,pk} (unweighted) (dB re 1 μPa)			
			215	L _E (unweighted) (dB re 1 μPa ² ·s)			
		Effetti comportamentali	110-120	dB re: 1 μPa RL (rms/pulse duration)			
	Cetacei – frequenza molto alta	TTS onset	224	L _{p,pk} (unweighted) (dB re 1 μPa)			
			195	L _E (unweighted) (dB re 1 μPa ² ·s)			
		PTS onset	230	L _{p,pk} (unweighted) (dB re 1 μPa)			
			215	L _E (unweighted) (dB re 1 μPa ² ·s)			
		Effetti comportamentali	140-150	dB re: 1 μPa RL (rms/pulse duration)			
	Focidi	TTS onset	212	L _{p,pk} (unweighted) (dB re 1 μPa)			
			166	L _E (unweighted) (dB re 1 μPa ² ·s)			
		PTS onset	218	L _{p,pk} (unweighted) (dB re 1 μPa)			
			186	L _E (unweighted) (dB re 1 μPa ² ·s)			
		Effetti comportamentali	120-130	dB re: 1 μPa RL (rms/pulse duration)			
	Pesci - no vescica natatoria (sensibili al particle motion)	Morte e potenziali danni mortali	(V) Basso (I) Basso (L) Basso	Rischio relativo			
		Danni recuperabili	(V) Basso (I) Basso (L) Basso	Rischio relativo			
		TTS onset	(V) Moderato (I) Basso (L) Basso	Rischio relativo			
		Masking	(V) Alto (I) Alto (L) Basso	Rischio relativo			

RUMORE SUBACQUEO

Obiettivi specifici del MA	Tipologia animale – gruppo funzionale	Tipologia parametro	Valore limite	Unità di misura	Localizzazione dei monitoraggi	Frequenza/Durata dei monitoraggi	Metodologia
	Pesci- con vescica natatoria ma non coinvolta nella percezione di suoni (<i>sensibili al particle motion</i>)	Effetti comportamentali	(V) Moderato (I) Moderato (L) Basso	Rischio relativo			
		Morte e potenziali danni mortali	(V) Basso (I) Basso (L) Basso	Rischio relativo			
		Danni recuperabili	(V) Basso (I) Basso (L) Basso	Rischio relativo			
		TTS onset	(V) Moderato (I) Basso (L) Basso	Rischio relativo			
		Masking	(V) Alto (I) Alto (L) Moderato	Rischio relativo			
		Effetti comportamentali	(V) Moderato (I) Moderato (L) Basso	Rischio relativo			
	Pesci- con vescica natatoria e deputata alla percezione di suoni	Morte e potenziali danni mortali	(V) Basso (I) Basso (L) Basso	Rischio relativo			
		Danni recuperabili	170	$L_{p,rms}$ for 48 h (dB re 1 μ Pa)			
		TTS onset	158	$L_{p,rms}$ for 12 h (dB re 1 μ Pa)			
		Masking	(V) Alto (I) Alto (L) Alto	Rischio relativo			
		Effetti comportamentali	150	$L_{p,rms}$ (dB re 1 μ Pa)			
	Tartarughe marine	Morte e potenziali danni mortali	(V) Basso (I) Basso (L) Basso	Rischio relativo			
		Danni recuperabili	(V) Basso (I) Basso (L) Basso	Rischio relativo			
		TTS onset	(V) Moderato (I) Basso (L) Basso	Rischio relativo			
		Masking	(V) Alto (I) Alto	Rischio relativo			

RUMORE SUBACQUEO							
Obiettivi specifici del MA	Tipologia animale – gruppo funzionale	Tipologia parametro	Valore limite	Unità di misura	Localizzazione dei monitoraggi	Frequenza/Durata dei monitoraggi	Metodologia
			(L) Moderato				
		Effetti comportamentali	(V) Alto (I) Moderato (L) Basso	Rischio relativo			
	Uova e larve	Morte e potenziali danni mortali	(V) Basso (I) Basso (L) Basso	Rischio relativo			
		Danni recuperabili	(V) Basso (I) Basso (L) Basso	Rischio relativo			
		TTS onset	(V) Basso (I) Basso (L) Basso	Rischio relativo			
		Masking	(V) Alto (I) Moderato (L) Basso	Rischio relativo			
		Effetti comportamentali	(V) Moderato (I) Moderato (L) Basso	Rischio relativo			

Tab. 15.4 – Specifiche rumore subacqueo.

Tipologia animale – gruppo funzionale	Genere (o specie corrispondente)
Cetacei - bassa frequenza	Balaenidae (<i>Balaena</i> , <i>Eubalaenidae</i> spp.); Balaenopteridae (<i>Balaenoptera physalus</i> , <i>B. musculus</i>) Balaenopteridae (<i>Balaenoptera acutorostrata</i> , <i>B. bonaerensis</i> , <i>B. borealis</i> , <i>B. edeni</i> , <i>B. omurai</i> ; <i>Megaptera novaeangliae</i>); Neobalenidae (<i>Caperea</i>); Eschrichtiidae (<i>Eschrichtius</i>)
Cetacei - alta frequenza	Physeteridae (<i>Physeter</i>); Ziphiidae (<i>Berardius</i> spp., <i>Hyperoodon</i> spp., <i>Indopacetus</i> , <i>Mesoplodon</i> spp., <i>Tasmacetus</i> , <i>Ziphius</i>); Delphinidae (<i>Orcinus</i>), Delphinidae (<i>Delphinus</i> , <i>Feresa</i> , <i>Globicephala</i> spp., <i>Grampus</i> , <i>Lagenodelphis</i> , <i>Lagenorhynchus acutus</i> , <i>L. albirostris</i> , <i>L. obliquidens</i> , <i>L. obscurus</i> , <i>Lissodelphis</i> spp., <i>Orcaella</i> spp., <i>Peponocephala</i> , <i>Pseudorca</i> , <i>Sotalia</i> spp., <i>Sousa</i> spp., <i>Stenella</i> spp., <i>Steno</i> , <i>Tursiops</i> spp.); Montodontidae (<i>Delphinapterus</i> , <i>Monodon</i>); Plantanistidae (<i>Plantanista</i>)
Cetacei – frequenza molto alta	Delphinidae (<i>Cephalorhynchus</i> spp.; <i>Lagenorhynchus cruciger</i> , <i>L. australis</i>); Phocoenidae (<i>Neophocaena</i> spp., <i>Phocoena</i> spp., <i>Phocoenoides</i>); Iniidae (<i>Inia</i>); Kogiidae (<i>Kogia</i>); Lipotidae (<i>Lipotes</i>); Pontoporiidae (<i>Pontoporia</i>)

15.3 Vibrazioni in ambito terrestre

15.3.1 Obiettivi specifici del monitoraggio ambientale

Il monitoraggio ambientale delle vibrazioni ha lo scopo di valutare:

1. Il disturbo delle persone all'interno degli edifici, ovvero gli effetti di fastidio indotti dalle vibrazioni percettibili dagli esseri umani, i quali dipendono in misura variabile dall'intensità, dal campo di frequenza delle vibrazioni, dalla numerosità degli eventi e dal contesto nel quale gli eventi si manifestano.
2. Gli effetti sulle strutture edilizie, in particolare sugli edifici di interesse storico-architettonico oggetto di tutela

Il monitoraggio ambientale delle vibrazioni si articola in tre fasi distinte e complementari: *ante operam*; monitoraggio in corso d'opera; *post operam*.

Il monitoraggio *ante operam* (AO) ha come obiettivi specifici:

- valutare lo stato dei luoghi in relazione ai livelli vibrazionali nella fase precedente all'apertura dei cantieri e all'esercizio dell'opera ("scenario di base");
- controllare/evidenziare situazioni di criticità preesistenti alla realizzazione dell'opera di progetto: situazioni di dichiarato disturbo alle persone, presenza di lesioni agli edifici;
- stimare i contributi specifici delle sorgenti di vibrazione presenti nel contesto territoriale in esame, ovvero caratterizzare le emissioni delle sorgenti presenti nell'area di indagine.

La verifica dello "scenario di base" è finalizzata a individuare e quantificare aspetti quali:

- campo vibrazionale;
- grado di disturbo degli utenti;
- stato di integrità delle strutture degli edifici;
- fattori d'interesse suscettibili di variazioni che potenzialmente influiscono sulla propagazione delle vibrazioni e/o sugli effetti delle stesse (presenza di falde acquifere, presenza di attività naturali e/o antropiche sorgenti potenziali di vibrazione, tali da alterare il campo vibrazionale e/o il mezzo di propagazione).

Il monitoraggio in corso d'opera (CO) ha come obiettivi specifici:

- valutare l'eventuale alterazione, dovuta allo svolgimento delle fasi di realizzazione dell'opera, dei livelli vibrazionali rilevati nello scenario di base;
- stimare il contributo specifico delle attività lavorative/macchine di cantiere sui livelli vibrazionali complessivi nel contesto territoriale in esame, ovvero caratterizzare le emissioni delle attività di cantiere;
- garantire il rispetto dei limiti di riferimento delle norme vigenti e/o di valori soglia/*standard* per la valutazione degli effetti delle vibrazioni sulle persone e sugli edifici;
- individuare eventuali situazioni critiche che si dovessero verificare nella fase di realizzazione dell'opera²⁵, allo scopo di prevedere delle azioni correttive: modifiche alla gestione/pianificazione temporale delle attività del cantiere o alla conduzione delle lavorazioni e/o realizzazione di adeguati interventi di mitigazione temporanei;
- verificare l'efficacia di eventuali azioni correttive.

²⁵ Possono essere definite delle Soglie di Pre-allerta e Soglie di Allerta Operativa, impostate a valori inferiori ai limiti di riferimento e stabilite in funzione del rischio e della vulnerabilità dei ricettori. Al superamento della Soglia di Allerta, si attivano procedure operative per la gestione delle criticità, che includono: interruzione immediata delle lavorazioni vibro-impattive, notifica al Responsabile di Cantiere/Direttore Lavori, analisi immediata della sorgente e adozione di misure correttive.

- verificare il rispetto di prescrizioni, procedure, vincoli autorizzativi, modalità operazionali/gestionali di progetto;
- implementare un sistema di monitoraggio continuo con soglie operative per la gestione in tempo reale del rischio.

Il monitoraggio CO è effettuato per tutte le tipologie di cantiere:

- cantieri fissi (cantieri base/cantieri operativi);
- cantieri mobili (cantieri lungo linea e/o fronte di avanzamento lavori):
 - o per la realizzazione di opere lineari quali infrastrutture stradali/ferroviarie, elettrodotti, ecc.;
 - o cantieri di grandi dimensioni che presentano lavorazioni dislocate in aree diverse e/o programmate in tempi differenti.

Il monitoraggio CO include il controllo delle vibrazioni prodotte anche dal transito dei mezzi di cantiere lungo la viabilità temporanea (piste di cantiere) e lungo la viabilità ordinaria interferita, durante tutte le fasi di cantiere e le attività connesse alla realizzazione dell'opera²⁶.

Il monitoraggio *post operam* (PO) ha come obiettivi specifici:

- valutare le variazioni rispetto ai livelli vibrazionali monitorati nello scenario vibrazionale di base;
- stimare il contributo specifico della sorgente oggetto di indagine sui livelli vibrazionali complessivi nel contesto territoriale in esame, ovvero caratterizzare le emissioni della sorgente PO;
- garantire il rispetto dei limiti di riferimento delle norme vigenti e/o di valori soglia/standard per la valutazione di effetti delle vibrazioni sulle persone e sugli edifici;
- verificare l'efficacia di eventuali interventi di mitigazione definiti in fase di progettazione²⁷.

L'individuazione di situazioni di criticità durante il monitoraggio CO e/o PO, ovvero di livelli vibrazionali superiori ai limiti individuati dalle norme, non previste nel SIA, comporta necessariamente:

- l'attivazione e messa in opera di ulteriori interventi di mitigazione, temporanei o permanenti, oltre a quelli previsti in fase progettuale (SIA);
- la revisione e la modifica di interventi di mitigazione originariamente pianificati qualora risultino insufficienti a raggiungere gli obiettivi di mitigazione attesi.

15.3.2 Ambito oggetto del monitoraggio ambientale

Il raggiungimento degli obiettivi specifici previsti nel MA delle vibrazioni prevede due ambiti di indagine.

15.3.2.1 Ambito normativo

La valutazione dei livelli vibrazionali, eseguita ai fini della verifica dell'effetto sull'uomo e sulle strutture edilizie, è regolamentata da norme tecniche internazionali e nazionali.

Norme UNI:

- UNI 9614:2017 Misura delle vibrazioni negli edifici e criteri di valutazione del disturbo;
- UNI 9916:2014 Criteri di misura e valutazione degli effetti delle vibrazioni sugli edifici;
- UNI EN ISO 8041-1:2017 Risposta degli esseri umani alle vibrazioni - Strumenti di misurazione - Parte 1: Strumenti per la misura di vibrazioni per uso generale;

²⁶ È incluso anche il traffico indotto per il trasporto delle terre di scavo, dai siti di produzione ai siti di destinazione, durante l'intero processo di gestione (vedere sezione Terre e Rocce da Scavo, capitolo 6.3, Parte I delle presenti Linee guida).

²⁷ Gli interventi di mitigazione includono: interventi alla sorgente (es. per infrastrutture ferroviarie, interventi sulla sovrastruttura ferroviaria, interventi sul materiale rotabile; es. per infrastrutture stradali, uso di giunti di dilatazione a basso impatto); mitigazioni lungo il percorso sorgente-ricettore per deviare o assorbire l'energia vibrazionale (es. barriere vibrazionali); mitigazioni al ricettore (es. rinforzo strutturale leggero).

- UNI 11568:2015 Vibrazioni - Strumentazione e analisi per la misura delle vibrazioni - Strumentazione di misura;
- UNI ISO 5348:2007 Vibrazioni meccaniche e urti - Montaggio meccanico degli accelerometri;
- UNI ISO 2041:2025 Vibrazioni meccaniche, urti e monitoraggio delle condizioni – Vocabolario.

15.3.2.2 Ambito di indagine

- Valutazione del disturbo delle persone;
- Valutazione degli effetti sugli edifici.

15.3.3 Localizzazione delle aree di indagine e dei punti di monitoraggio

L'ambito di significatività del fenomeno vibratorio dipende principalmente dalla tipologia di sorgente vibrazionale e dalle proprietà meccaniche del terreno attraverso cui si propagano le onde di vibrazione.

Ai fini dell'individuazione degli ambiti spaziali in cui si verificano le massime interazioni sorgente/ricettore, e quindi dell'area di indagine in cui effettuare il monitoraggio, è necessario considerare i seguenti aspetti:

- parametri geolitologici e geotecnici significativi, in particolare le proprietà fisiche ed elastiche del terreno, che influenzano la propagazione e/o l'attenuazione delle onde di vibrazione; devono essere considerate eventuali discontinuità nella propagazione (es. falde acquifere, con indicazione della loro posizione e delle fluttuazioni stagionali, o strati di terreno con diversa consistenza e caratteristiche);
- presenza di strutture/infrastrutture sotterranee (gallerie/tunnel, opere in fondazione, ecc.) che possono interferire nella distribuzione del campo vibrazionale
- caratteristiche emissive delle sorgenti di vibrazione, quali ampiezza, contenuto in frequenza e durata del fenomeno;
- tipologia dei ricettori:
 - o ai fini della valutazione del disturbo alla popolazione secondo la UNI 9614, la classificazione deve basarsi sulla destinazione d'uso;
 - o ai fini della valutazione degli effetti sugli edifici secondo la UNI 9916, vanno considerate le caratteristiche costruttive e lo stato di conservazione.

Tali informazioni sono generalmente acquisite nell'ambito del SIA.

All'interno dell'area di indagine vengono identificati i ricettori che risultano più sensibili alle vibrazioni indotte dalla realizzazione ed esercizio dell'opera in esame, secondo questo ordine di priorità:

- edifici sensibili, quali ospedali, asili e case di riposo, scuole.
- edifici ad uso abitativo;
- luoghi lavorativi;
- edifici di interesse storico-architettonico oggetto di tutela.

La definizione del numero e dell'ubicazione dei punti di monitoraggio è effettuata sulla base delle caratteristiche del territorio, considerando la distribuzione e la tipologia dei ricettori e delle sorgenti di vibrazione.

I principali criteri su cui orientare la scelta dei punti di monitoraggio consistono in:

- vicinanza di ricettori sensibili e abitativi all'opera di progetto (punti di monitoraggio AO e PO);
- vicinanza dei ricettori sensibili e abitativi alle aree di cantiere e alla viabilità di servizio percorsa dal traffico indotto dalle attività di cantiere lungo i percorsi cantiere-cantiere, cava-cantiere, cantiere-discarda/sito di stoccaggio (punti di monitoraggio AO e CO);
- presenza di edifici di interesse storico-architettonico oggetto di tutela (punti di monitoraggio AO, CO, PO);

- presenza di ricettori per i quali sono stati progettati interventi di mitigazione (punti di monitoraggio PO).

Per ciascun punto di monitoraggio previsto nel PMA devono essere verificate, anche mediante sopralluogo, le seguenti condizioni:

- assenza di situazioni locali che possono interferire con le misure (fonti vibrazionali non pertinenti o impreviste);
- accessibilità alle aree private per consentire ai tecnici incaricati il posizionamento e il funzionamento della strumentazione per l'intera durata del monitoraggio e in tutte le fasi previste;
- disponibilità di alimentazione elettrica, se necessaria per la strumentazione.

Nel PMA devono essere riportate la descrizione dei punti di monitoraggio e la loro localizzazione cartografica.

15.3.4 Parametri descrittivi (indicatori)

I parametri fisici che caratterizzano le vibrazioni sono lo spostamento, la velocità e l'accelerazione del moto dei punti materiali appartenenti al mezzo solido in cui la vibrazione si propaga. Poiché le grandezze citate sono vettoriali, la descrizione completa del fenomeno vibratorio è effettuata misurando la variabilità temporale della grandezza in tre direzioni mutuamente ortogonali.

La scelta del parametro da misurare e quindi della metodologia di misura dipende dall'obiettivo e finalità della misurazione.

Valutazione del disturbo delle persone

Per la valutazione del disturbo delle persone le vibrazioni vanno caratterizzate misurando il valore efficace dell'accelerazione ponderata (a_w), espresso in m/s^2 (o suoi sottomultipli), nel campo di frequenze di interesse, compreso tra 1 e 80 Hz.

Poiché gli effetti delle vibrazioni sono differenti a seconda delle frequenze, vanno impiegati dei filtri che ponderano le accelerazioni in base alla risposta dell'organismo umano esposto. Ai fini della valutazione della risposta dell'organismo umano ai fenomeni vibratorii negli edifici, si fa riferimento all'accelerazione complessiva, ottenuta applicando il filtro di ponderazione in frequenza W_m (come definito dalla norma ISO 2631-2).

L'Accelerazione Ponderata Totale Efficace è ottenuta combinando con la somma quadratica i valori efficaci dell'accelerazione ponderata misurati sui tre assi (x, y, z).

Il parametro descrittore finale del disturbo è la Massima Accelerazione Statistica ($a_{w,95}$), calcolato come il 95° percentile della distribuzione di tutti i valori di Massima Accelerazione Ponderata ($a_{w,max}$) registrati per i singoli eventi di vibrazione significativi.

Valutazione degli effetti sugli edifici

Per la valutazione degli effetti sugli edifici si rende necessaria l'acquisizione dei dati di vibrazione nell'intervallo di frequenze compreso tra 1 e 250 Hz, come previsto dalla norma UNI 9916.

Il parametro di riferimento per tale valutazione è la velocità massima di vibrazione, espressa in mm/s, da intendersi come valore di picco all'interno del campo di frequenze rilevate.

In particolare, la norma prevede due modalità per la determinazione della velocità di vibrazione:

- velocità di picco puntuale (PPV - *Peak Particle Velocity*): corrisponde al valore massimo del modulo del vettore velocità misurato in un punto, ottenuto tramite la misurazione simultanea delle tre componenti ortogonali (X, Y, Z) della velocità e la successiva combinazione vettoriale.
- velocità di picco di una componente puntuale (PCPV - *Peak Component Particle Velocity*): rappresenta il valore massimo registrato su una singola componente ortogonale, tra le tre misurate simultaneamente.

La scelta tra PPV e PCPV dipende dalle finalità specifiche dell'analisi e dal tipo di confronto richiesto con i limiti di accettabilità previsti per la tutela dell'integrità strutturale degli edifici.

Nel PMA devono essere specificati i parametri fisici acquisiti dalla strumentazione di misura, necessari per la determinazione dei descrittori pertinenti.

15.3.5 Frequenza e durata dei monitoraggi

Per il monitoraggio AO è necessario effettuare almeno una misurazione rappresentativa dei livelli vibrazionali presenti nel contesto territoriale in esame prima della realizzazione dell'opera oggetto di VIA.

Il monitoraggio CO è strettamente correlato alle attività di cantiere. In funzione del cronoprogramma della attività, vengono individuate le singole fasi significative ai fini dell'emissione vibrazionale; per ciascuna fase di lavorazione si programma l'attività di monitoraggio all'avvio delle attività di lavorazione.

Generalmente, misurazioni CO dei livelli vibrazionali sono previste:

- all'inizio di nuove fasi operative o di lavorazioni a potenziale vibrazionale significativo (es. palificazioni, compattazioni, scavi profondi);
- alla realizzazione degli interventi di mitigazione di tipo temporaneo;
- al variare del fronte di lavorazione, in particolare per cantieri estesi (es. opere lineari come infrastrutture stradali o ferroviarie).

Per lavorazioni di lunga durata, è possibile programmare misure con frequenza bimestrale, trimestrale o semestrale, a seconda dell'intensità e variabilità delle sorgenti.

Il monitoraggio CO deve coprire l'intero arco temporale previsto per la realizzazione completa dell'opera.

Il monitoraggio PO deve essere eseguito all'entrata in esercizio e nelle condizioni di esercizio di progetto.

La definizione del periodo di monitoraggio deve tener conto:

- della variabilità temporale della sorgente vibrazionale (giornaliera, settimanale, stagionale);
- delle condizioni ambientali e meteorologiche;
- delle fasce orarie in cui si possono verificare livelli di disturbo significativi per la popolazione o sollecitazioni potenzialmente dannose per gli edifici.

La durata delle misure deve garantire che i dati siano:

- rappresentativi del fenomeno vibrazionale;
- statisticamente affidabili per la valutazione del disturbo delle persone (UNI 9614) e degli effetti sugli edifici (UNI 9916).

Per la valutazione del disturbo delle persone all'interno degli edifici, "la durata complessiva delle misurazioni è legata al numero di eventi del fenomeno in esame necessario ad assicurare una ragionevole accuratezza statistica, tenendo conto non solo della variabilità della sorgente ma anche dell'ambiente di misura.". In particolare, si raccomanda:

Per vibrazioni di tipo continuo:

- nel caso di segnale stazionario nel tempo, ovvero con un segnale costante nel tempo (es. funzionamento costante di macchinari), la misura deve coprire un periodo rappresentativo del funzionamento della sorgente;
- nel caso di segnale variabile ma con presenza costante nel tempo (es. macchinari che operano con cicli o intensità variabili), la durata della misura deve essere almeno pari all'intero ciclo operativo o al periodo di attività previsto della sorgente.

Per vibrazioni transitorie:

- nel caso di eventi impulsivi e ciclici, il monitoraggio deve essere prolungato, di durata non inferiore a 24 ore, per cogliere variabilità e frequenza degli eventi;

- nel caso di eventi sporadici nel tempo (sorgenti con funzionamento discontinuo o imprevedibile), il monitoraggio deve essere esteso nel tempo per coprire eventi rappresentativi e garantire la raccolta di dati affidabili.

Inoltre, la durata delle misurazioni deve considerare le condizioni ambientali e di contorno, quali la variabilità stagionale, giornaliera e le condizioni meteorologiche, al fine di garantire che le misure siano realmente rappresentative delle condizioni di esposizione reali.

Nel PMA devono essere riportati i periodi di misura, la frequenza delle misure e la durata delle misure, per ciascuna fase di monitoraggio (AO, CO, PO).

Indipendentemente dalla pianificazione delle misure, possono essere previsti rilievi straordinari, anche in postazioni differenti da quelle inizialmente pianificate, nei seguenti casi:

- a seguito di segnalazioni, reclami o esposti da parte dei cittadini;
- su richiesta degli enti competenti (ARPA, Comune, Soprintendenza, ecc.);
- in presenza di eventi anomali o imprevisti (crolli, danni, vibrazioni anomale, ecc.).

15.3.6 Metodologie di riferimento/tecniche di misura

15.3.6.1 Le norme di riferimento

A livello nazionale, ad oggi, non esiste alcuna legge o decreto che disciplini specificamente la regolamentazione e la valutazione degli effetti delle vibrazioni di origine antropica sugli ambienti di vita e sulle strutture edilizie.

Per la valutazione dei livelli vibrazionali, si fa pertanto riferimento a norme tecniche di settore, che definiscono criteri e metodi per la misurazione e la valutazione degli effetti delle vibrazioni sia sulle persone che sugli edifici.

Le norme per la valutazione del disturbo delle persone sulla popolazione sono la norma UNI 9614 e lo standard internazionale ISO 2631-2²⁸. La norma UNI 9614 definisce il metodo per misurare le vibrazioni immesse negli edifici da sorgenti esterne (es. traffico su gomma e rotaia, attività di cantiere) o interne (es. macchinari in funzione), stabilisce i criteri di valutazione del disturbo percepito e definisce i limiti di riferimento.

La norma per la valutazione degli effetti sugli edifici e/o strutture edilizie è la norma UNI 9916. Tale norma si applica, in generale, a tutte le tipologie di edifici, siano essi abitativi, industriali o monumentali²⁹. La UNI 9916 fornisce una guida dettagliata per la scelta di metodi di misura appropriati, il trattamento dei dati e la valutazione dei fenomeni vibratorii, con l'obiettivo di analizzare gli effetti delle vibrazioni sia di tipo continuo (o permanente) sia transitorio (o di breve durata) sugli edifici. L'attenzione è rivolta alla risposta strutturale degli edifici e all'integrità architettonica, in particolare ai danni cosiddetti di soglia o "*cosmetic damage*", ovvero quei danni superficiali e non strutturali. Per valutare gli effetti delle vibrazioni sugli edifici, i valori misurati devono essere confrontati con le indicazioni riportate in alcune norme internazionali, che la UNI 9916 riassume e integra.

È importante sottolineare che i valori vibrazionali che possono causare danni agli edifici sono generalmente molto più elevati rispetto ai limiti stabiliti per la valutazione del disturbo delle persone. Gli standard di protezione indicati nella norma UNI 9614, volti alla tutela della salute e del comfort delle persone, garantiscono anche una protezione sufficiente contro il possibile insorgere di danni architettonici di soglia agli edifici. Tuttavia, nel caso in cui i limiti di disturbo vengano significativamente superati, soprattutto in presenza di eventi impulsivi quali urti o esplosioni, può verificarsi il superamento delle soglie di danno.

La valutazione degli effetti sulla struttura edilizia riveste un'importanza particolare e deve essere condotta con la massima attenzione negli edifici di interesse storico-architettonico oggetto di tutela, caratterizzati da un'elevata vulnerabilità strutturale, specialmente in presenza di sollecitazioni dinamiche intense e prolungate nel tempo.

15.3.6.2 La strumentazione di misura

²⁸ ISO 2631-2:2003 Mechanical vibration and shock - Evaluation of human exposure to whole-body vibration Part 2: Vibration in buildings (1 Hz to 80 Hz)

²⁹ La norma non considera ciminiere, ponti e strutture sotterranee, quali gallerie e tubazioni.

La strumentazione di misura delle vibrazioni è costituita da una catena di acquisizione completa che comprende generalmente i seguenti componenti:

- trasduttore;
- preamplificatore;
- condizionatore di segnale;
- convertitore analogico/digitale;
- analizzatore di segnale;
- altri dispositivi (visualizzatore, stampante, ecc.).

Elementi accessori come connettori, cavi e supporti sono considerati parte integrante della catena di misura e devono garantire la qualità del segnale rilevato.

Per la misura dei livelli di vibrazione finalizzati alla valutazione del disturbo delle persone, il trasduttore utilizzato è l'accelerometro³⁰. Tra i più diffusi vi sono gli accelerometri piezoelettrici, apprezzati per la loro robustezza, dimensioni contenute, ampia banda passante e costo contenuto. Il sensore accelerometrico deve garantire una risposta in frequenza piatta e affidabile nell'intervallo da 0,5 Hz a 250 Hz, che copre il campo di interesse per la maggior parte delle applicazioni di valutazione del disturbo vibrazionale.

La strumentazione utilizzata per la valutazione della risposta dell'organismo umano alle vibrazioni deve essere conforme ai requisiti stabiliti dalla norma UNI EN ISO 8041-1, che definisce le prestazioni e le caratteristiche dei trasduttori, così come indicato dalla norma UNI 9614.

Per la misurazione degli effetti delle vibrazioni sugli edifici, possono essere impiegati anche trasduttori di velocità come velocimetri, geofoni o sismografi, che devono anch'essi presentare una risposta piatta nell'intervallo di frequenze da 0,5 a 250 Hz, tipico delle vibrazioni ambientali. È comune acquisire direttamente l'accelerazione tramite accelerometro e ottenere la velocità mediante integrazione digitale del segnale accelerometrico, così da sfruttare la maggiore precisione degli accelerometri e la flessibilità dell'elaborazione digitale.

La strumentazione deve essere sottoposta a taratura periodica, almeno ogni due anni, presso laboratori accreditati (LAT) per garantire la correttezza delle misure nel tempo.

Prima e dopo ogni sessione di misura, l'accelerometro deve essere calibrato in sito mediante un calibratore esterno che fornisce un segnale di riferimento noto. Le verifiche in situ devono essere eseguite in conformità alle indicazioni della norma UNI EN ISO 8041-1.

Per i velocimetri, che non possono essere calibrati direttamente in sito, si fa affidamento sulla sensibilità dichiarata dal produttore, supportata dalla relativa certificazione di taratura fornita dal laboratorio accreditato.

Nel PMA deve essere riportata la strumentazione di misura che sarà impiegata nelle campagne di monitoraggio.

15.3.6.3 L'installazione dei dispositivi di rilevamento

L'installazione dei dispositivi di rilevamento deve garantire che il trasduttore riproduca fedelmente il moto vibrazionale dell'elemento da monitorare (struttura, solaio, terreno), senza introdurre distorsioni significative dovute all'accoppiamento struttura/trasduttore.

1. Fissaggio agli elementi strutturali e/o al solaio di un edificio

I trasduttori devono essere fissati direttamente alla struttura da monitorare oppure montati su una piastra rigida (massetto d'acciaio) di massa adeguata, appoggiata saldamente alla struttura, in modo da garantire buona trasmissione meccanica.

Il requisito fondamentale è un accoppiamento meccanico solido tra la base del trasduttore e la superficie da cui si misura: superfici pulite, piane e ben a contatto.

³⁰ Non è ammesso l'impiego di velocimetri.

Il montaggio deve essere rigido e stabile, evitando giochi meccanici, e la massa del trasduttore e del sistema di fissaggio deve essere trascurabile rispetto alla massa dinamica della struttura. Cavi non fissati possono esercitare forze spurie (tra singole oscillazioni) e alterare il segnale.

Il trasduttore va orientato in modo che l'asse principale di sensibilità coincida con la direzione di misura prevista, minimizzando disallineamenti. Il trasduttore deve essere utilizzato ben al di sotto della sua frequenza di risonanza, per evitare amplificazioni spurie.

Metodi di montaggio comuni (da scegliere, caso per caso, in relazione alle condizioni di posa e preferibilmente in accordo con il produttore) includono:

- inserti/tasselli (meccanici o chimici) inseriti nel piano di posa;
- collaggi rigidi (con mastici, resine, cera d'api, ecc.);
- magneti;
- collegamenti bullonati;
- masse appoggiate alla superficie alle quali viene vincolato l'accelerometro.

Si segnala che l'uso di tali masse è vietato su superfici morbide (es. tappeti, moquette, ecc.) e non piane e/o irregolari. Le masse devono garantire un appoggio isostatico. Se la superficie del pavimento è rivestita è opportuno rimuovere il rivestimento nel punto di misura, oppure utilizzare puntali rigidi che attraversino lo strato elastico e arrivino al supporto strutturale rigido.

In ogni caso il metodo scelto non deve causare alterazioni del trasferimento meccanico nel campo di frequenza d'interesse.

I metodi di montaggio suggeriti o indicati dal fabbricante devono essere conformi ai principi generali della norma UNI ISO 5348³¹.

2. Fissaggio al terreno

È opportuno garantire un contatto stretto tra trasduttore e terreno.

Nei casi di accelerazioni significative ($\geq 1 \text{ m/s}^2$) è opportuno un fissaggio rigido al suolo per evitare slittamenti.

Per ridurre l'influenza di strati esterni, si può installare il trasduttore parzialmente interrato, tipicamente a profondità almeno pari a tre volte la dimensione principale del sistema captatore-fissaggio.

In alternativa, l'accelerometro può essere fissato magneticamente a una puntazza battuta sul terreno, purché il contatto meccanico sia saldo e stabile.

15.3.6.4 L'esecuzione delle misure, l'elaborazione e l'analisi dei dati

In ogni punto di monitoraggio deve essere adottata una procedura di rilievo in grado di garantire: lo svolgimento omogeneo delle indagini nei diversi punti, la ripetibilità delle misure e la reperibilità dei punti di misura a distanza di tempo.

Lo svolgimento delle attività di monitoraggio richiede l'impiego di personale esperto nella misura delle vibrazioni, supportato da personale tecnico operativo.

Prima di procedere con le misure, occorre valutare alcune condizioni che possono influenzare sensibilmente i risultati:

- *condizioni ambientali del terreno:*

le fluttuazioni del livello di falda possono modificare le caratteristiche meccaniche del terreno (rigidezza, attenuazione) e quindi influenzare lo spettro vibrazionale.

In periodi particolari (es. gelo invernale), la variazione di rigidità dei suoli superficiali può alterare la propagazione delle vibrazioni;

- *condizioni meteorologiche e ambientali esterne:*

³¹ Si fa riferimento anche alla norma ISO 5348:2021 (che sostituisce la ISO 5348:1998, adottata dalla norma UNI ISO 5348:2007).

in misure in ambiente aperto, la temperatura, la sua variazione nel tempo e l'umidità relativa possono influenzare la risposta del trasduttore in particolare a basse frequenze o per segnali deboli.

È consigliabile evitare periodi con transitori termici rapidi (es. alba/tramonto in giornate con forti escursioni termiche) o condizioni estreme che possano indurre drift termico nel sensore.

Poiché l'effetto delle vibrazioni è funzione della tipologia di sorgente di vibrazione, ovvero del segnale vibratorio, nella caratterizzazione della sorgente di vibrazione è opportuno indicare i seguenti parametri:

1. Per sorgenti con segnale continuo (es. lavorazioni industriali, macchine di cantiere):
 - Orari di inizio e fine delle attività quotidiane;
 - o durata giornaliera effettiva (considerando le eventuali pause);
 - o ciclicità del segnale (breve, medio, lungo periodo) e distribuzione temporale nel corso della giornata;
 - o frequenza di operatività settimanale, mensile, annuale (numero di giorni attivi).
2. Per sorgenti con segnale transitorio o variabile (es. il traffico stradale):
 - o durata delle diverse fasi (es. traffico intenso, moderato, presenza di veicoli pesanti) e loro collocazione temporale (giornaliera/settimanale/mensile/annuale).
3. Per gli eventi impulsivi/urti (es. detonazione di mine):
 - o numero degli eventi e la loro distribuzione oraria (giornaliera, settimanale, mensile e annuale).

Le modalità di misura, l'elaborazione e l'analisi dei dati differiscono in funzione dell'obiettivo del monitoraggio.

Valutazione del disturbo delle persone

Per l'acquisizione delle vibrazioni ai fini della valutazione del disturbo delle persone, le postazioni di misura devono essere scelte sulla base delle reali condizioni di utilizzo degli ambienti. I rilievi sono eseguiti nel locale più disturbato, in generale sui pavimenti o, in subordine, su elementi strutturali a diretto contatto con il corpo umano.

Le accelerazioni devono essere misurate simultaneamente lungo tre direzioni ortogonali (triassiali). Il sistema di assi ortogonali utilizzato per il trasduttore deve essere riferito alla struttura dell'edificio, oppure, in alternativa, al corpo umano.

Per garantire una corretta base statistica, la norma UNI 9614 richiede la registrazione di un numero minimo di eventi vibratorii significativi³², tenendo conto che il disturbo è influenzato dalla variabilità e dalla frequenza degli eventi stessi. Questo numero varia a seconda della tipologia di sorgente, spaziando da un minimo di 5 eventi, per fenomeni caratterizzati da un ridotto numero di eventi (es. esplosioni da mina), per i quali si richiedono più misurazioni eventualmente in giorni diversi, fino a 25 eventi, per sorgenti quasi stazionarie o ergodiche, senza eventi distinguibili (es. alcune attività industriali). Per le sorgenti che generano un elevato numero di eventi distinti, sono richiesti almeno 15 eventi per una caratterizzazione attendibile (es. traffico ferroviario, traffico stradale, attività di cantiere, alcune attività industriali).

L'obiettivo dell'elaborazione delle misure è convertire le accelerazioni registrate ($a_x(t)$, $a_y(t)$, $a_z(t)$) in un parametro descrittore statistico rappresentativo del disturbo percepito dagli occupanti dell'edificio.

L'elaborazione dei dati acquisiti dalla strumentazione avviene attraverso una sequenza di passaggi standardizzati, validi per tutti i tipi di sorgente di vibrazione:

1. L'accelerazione misurata sui tre assi (a_x , a_y , a_z) viene prima filtrata con un filtro passa banda (*band-limiting*) e successivamente ponderata in frequenza utilizzando il filtro W_m (ISO 2631-2), nel campo di frequenze 1-80 Hz;
2. Si calcola il valore efficace (RMS) dell'accelerazione assiale ponderata, con tempo di integrazione di 1 secondo;

³² Evento: elemento minimo del fenomeno vibratorio oggetto di misura, al quale viene associata la massima accelerazione ponderata (rif. Norma UNI 9614:2017).

3. Si ottiene l'accelerazione ponderata totale efficace ($a_w(t)$) combinando i valori efficaci assiali sui tre assi mediante la somma quadratica;
4. Per ciascuno degli eventi vibratorii registrati, si individua il valore massimo dell'accelerazione ponderata totale, denominato Massima Accelerazione Ponderata ($a_{w,max}$);
5. Si calcola il parametro descrittore, Massima Accelerazione Statistica ($a_{w,95}$), come il 95° percentile della distribuzione statistica di tutti gli $a_{w,max}$ registrati;
6. Si calcola l'accelerazione associata unicamente alla sorgente in esame V_{sor} , come differenza quadratica tra l'accelerazione ponderata massima statistica delle vibrazioni immesse V_{imm} (vibrazioni misurate con la sorgente attiva) e delle vibrazioni residue V_{res} (vibrazioni misurate con la sorgente non attiva).

Il valore finale V_{sor} ($a_{w,95}$), espresso in mm/s^2 è poi confrontato con i limiti di riferimento.

Nell'analisi del fenomeno vibratorio sono considerati anche gli effetti secondari, in particolare il rumore trasmesso dalla sorgente per via strutturale (rumore solido). Tale rumore va misurato a finestre chiuse, in modo da distinguerlo dalle emissioni sonore provenienti da altre sorgenti, secondo le tecniche di rilevamento e di misurazione dell'inquinamento acustico, e confrontato con il rumore rilevato a sorgente disattivata.

Valutazione degli effetti sugli edifici

La risposta di un edificio o dei suoi elementi strutturali sottoposti ad eccitazione dinamica, e quindi il danno potenziale associato alle vibrazioni, dipende sia dalle caratteristiche della sorgente e del mezzo di propagazione, sia dalla proprietà dinamiche dell'edificio stesso.

L'analisi degli effetti delle vibrazioni su edifici esistenti deve tenere conto dei seguenti aspetti:

- Meccanismo di eccitazione e trasmissione, funzione della natura della sorgente vibratoria (impulsiva, continua, periodica, casuale) e delle caratteristiche del mezzo attraverso cui la vibrazione si propaga (terreno, strutture intermedie, fondamenta);
- Durata e ciclicità dell'evento vibratorio, che possono generare effetti di fatica nei materiali, incrementando il rischio di degrado progressivo;
- Distribuzione spettrale dell'energia vibratoria, fondamentale per valutare l'interazione con i modi propri di vibrazione dell'edificio, al fine di individuare eventuali fenomeni di risonanza;
- Stato di conservazione, che può accentuare la vulnerabilità locale o globale alla sollecitazione vibratoria;
- Caratteristiche delle fondazioni (tipologia, estensione, profondità) e la loro interazione dinamica con il terreno (effetti di filtraggio, amplificazione, dissipazione), che condizionano fortemente l'entità della vibrazione trasmessa alla sovrastruttura.

La misurazione delle vibrazioni consente di:

1. valutare l'ampiezza delle vibrazioni in particolari punti strutturali;
2. analizzare la risposta globale della struttura, al fine di stimare la vulnerabilità complessiva dell'edificio.

Nel caso 1:

- i trasduttori (accelerometri o velocimetri) vanno installati direttamente su elementi strutturali significativi, preferibilmente nei punti ove si prevede la massima risposta dinamica.

Nel caso 2:

- per edifici di altezza ≤ 12 m (circa 3–4 piani), è sufficiente la misura in due sezioni significative: in corrispondenza della fondazione e all'ultimo impalcato. Entrambe le misurazioni devono essere eseguite lungo tre direzioni ortogonali, preferibilmente in corrispondenza degli assi principali della struttura;
- per edifici di altezza > 12 m, è raccomandato installare ulteriori punti di misura ai piani intermedi;
- per edifici con pianta estesa, si consiglia l'aggiunta di punti di misura distribuiti orizzontalmente a intervalli regolari (≥ 10 m);

- in edifici con asimmetrie planimetriche o carichi non simmetrici, è necessario prevedere punti di misura aggiuntivi in grado di rilevare modi torsionali di vibrazione.

Si segnala che i punti di misura dovrebbero essere collocati in corrispondenza o in prossimità di elementi strutturali portanti, come pareti, travi principali o nodi significativi, per una rappresentazione fedele del comportamento dinamico.

Per valutare il potenziale effetto dannoso delle vibrazioni sugli edifici, si acquisiscono i segnali in forma di tracce temporali (time histories) delle velocità o accelerazioni lungo i tre assi spaziali. Nel caso di segnali accelerometrici, i dati vengono filtrati e integrati nel range di frequenze significativo (1–250 Hz) per ottenere la velocità di vibrazione, come PPV (*Peak Particle Velocity* – Velocità di picco puntuale) o come PCPV (*Peak Component Particle Velocity* – Velocità di picco di una componente puntuale).

La norma UNI 9916 consente l'utilizzo di entrambi i parametri, con riferimento ai valori soglia indicati nell'Appendice D della stessa.

L'analisi spettrale del segnale (mediante trasformata di Fourier – FFT) permette di determinare la/e frequenza/e dominante/i del fenomeno vibratorio e confrontarle con le frequenze proprie dell'edificio. Questo confronto è essenziale per identificare eventuali condizioni di risonanza, che amplificano la risposta dinamica e aumentano il rischio di danno.

Se le vibrazioni misurate si avvicinano o superano i valori soglia indicati nella norma, è necessario eseguire un'analisi approfondita delle condizioni dell'edificio, che includa:

- esame dell'edificio in relazione a:
 - o tipologia costruttiva e struttura portante;
 - o materiali impiegati;
 - o fondazioni (tipo e stato);
- età dell'edificio, stato di conservazione, eventuali interventi passati (restauri, consolidamenti);
- rilevazione dello stato fessurativo e di eventuali cedimenti strutturali;
- esecuzione di monitoraggi nel tempo per osservare l'evoluzione dei danni e valutare relazioni causali con le vibrazioni esterne.

15.3.6.5 Altre misurazioni

Misura dell'eccitazione alla base dell'edificio

La misura dell'eccitazione ha lo scopo di:

- verificare il livello di vibrazione trasmesso dal terreno all'edificio;
- calcolare la funzione di trasferimento dinamica, ovvero il rapporto tra la vibrazione alla base e la risposta dell'edificio in elevazione.

Per questo tipo di indagine, i trasduttori (accelerometri o velocimetri) devono essere posizionati:

- in corrispondenza della fondazione, preferibilmente sul lato dell'edificio esposto alla sorgente vibratoria;
- nel caso di edifici privi di fondazioni distinte, alla base del muro di sostegno esterno.

Si segnala che la corretta posizione del sensore è direttamente sul materiale strutturale, evitando appoggi su finiture o elementi disaccoppiati.

In edifici con superficie di base estesa, è necessario installare più punti di misura, disposti a intervalli regolari, indicativamente almeno ogni 10 metri, per rappresentare in modo affidabile la distribuzione spaziale dell'eccitazione.

In ciascun punto, le vibrazioni devono essere misurate lungo tre direzioni ortogonali: una verticale, due orizzontali (preferibilmente allineate agli assi principali dell'edificio).

Misure per valutare l'influenza del terreno sul comportamento dinamico dell'edificio

Per valutare l'effetto del terreno nella trasmissione delle vibrazioni (filtraggio, attenuazione, amplificazione locale), è utile effettuare misurazioni simultanee in:

- prossimità della sorgente;
- in corrispondenza della fondazione dell'edificio.

Questa comparazione consente di determinare la funzione di propagazione nel terreno tra sorgente ed edificio, evidenziando eventuali effetti di sito (risonanze locali, accoppiamenti terreno-struttura) e stimando l'attenuazione con la distanza.

Misure per valutare la propagazione delle vibrazioni nel terreno

Per analizzare la propagazione delle vibrazioni nel suolo, si eseguono misurazioni su più punti posti a distanze crescenti dalla sorgente, lungo una o più direttrici radiali.

Queste misurazioni permettono di:

- valutare la legge di attenuazione delle vibrazioni (in funzione della distanza e del tipo di terreno);
- stimare i parametri dinamici del suolo, quali:
 - o velocità di propagazione delle onde (P e S);
 - o capacità dissipativa (smorzamento);
 - o eventuale amplificazione locale.

Tali dati sono essenziali per modellare la risposta del sistema sorgente-terreno-struttura, soprattutto in presenza di sorgenti impulsive (es. esplosioni, battipalo) o continue (es. traffico, macchinari industriali).

Misure per la caratterizzazione della sorgente

Le misure effettuate in prossimità immediata della sorgente sono finalizzate alla caratterizzazione spettrale e quantitativa dell'eccitazione vibratoria prodotta.

In particolare, vengono ricavati:

- il livello massimo di vibrazione (velocità o accelerazione);
- la spettrografia del segnale, per individuare le frequenze dominanti;
- l'eventuale periodicità o impulsività della sorgente.

Tali misure sono indispensabili per comprendere:

- la natura della sorgente (impulsiva, periodica, casuale, continua);
- la direzionalità delle vibrazioni;
- la ripetibilità e intensità nel tempo, utili per valutazioni previsionali o monitoraggi di lungo periodo.

Nel PMA devono essere descritte le procedure di acquisizione ed elaborazione dei dati acquisiti dalla strumentazione di misura per la determinazione dei descrittori/indicatori pertinenti.

15.3.6.6 Il rapporto di misura

Nel rapporto di misura, per ciascun punto di monitoraggio, oltre a quanto già indicato nella parte generale delle Linee Guida, è opportuno riportare le seguenti informazioni:

- descrizione/caratterizzazione della/e sorgente/i di vibrazione;
- descrizione delle condizioni meteorologiche e condizioni ambientali;
- descrizione del ricettore (destinazione d'uso dell'edificio, distanza del ricettore dalla sorgente, caratteristiche costruttive, caratteristiche e tipologia delle fondazioni, stato di conservazione dell'edificio, ecc.);
- descrizione/caratterizzazione del mezzo di propagazione (tipologia di terreno interposto tra sorgente e ricettore ed eventuali discontinuità nel mezzo di propagazione);

-
- posizione dei rilievi (planimetria del locale in cui si svolge il monitoraggio con indicazione delle postazioni di rilievo);
 - intervallo temporale di effettuazione della misura;
 - catena di misura;
 - modalità di fissaggio dei trasduttori;
 - sistema di riferimento adottato;
 - criteri e le modalità di acquisizione dei dati;
 - criteri e le modalità di elaborazione dei dati;
 - valutazione/descrizione di eventuali effetti secondari (es. rumore solido, altri fenomeni quali oscillazione e scricchiolii di lampadari e suppellettili, ecc.);
 - valutazione dei risultati e confronto con i limiti di riferimento.

15.3.7 Valori di riferimento

Ai fini della valutazione della risposta dell'organismo umano ai fenomeni vibratorii, il parametro descrittore finale del disturbo è la Massima Accelerazione Statistica ($a_{w,95}$), confrontato con i limiti di riferimento, espressi in mm/s. Tali limiti sono distinti in funzione della tipologia di ambiente e del periodo della giornata (diurno/notturno), come riportato nella norma UNI 9614.

Ai fini della valutazione degli effetti delle vibrazioni sugli edifici, il valore della velocità massima di vibrazione — espresso come velocità di picco puntuale (PPV) o come velocità di picco di una componente puntuale (PCPV) — deve essere misurato ed elaborato secondo i criteri indicati dalla norma UNI 9916. Tali valori devono essere confrontati con i limiti di riferimento riportati nell'Appendice D della norma, che include una sintesi dei limiti prestazionali tratti da standard tecnici internazionali consolidati, tra cui: DIN 4150-3 (*German Institute for Standardization*) – per edifici civili e industriali; BS 7385 (British Standard) – per la valutazione degli effetti delle vibrazioni indotte da demolizioni o esplosioni; BS 5228 – per vibrazioni indotte da attività di cantiere, traffico e impianti. Il confronto con tali valori consente di valutare la probabilità di danno strutturale o non strutturale e l'eventuale necessità di ulteriori indagini, monitoraggi o interventi mitigativi.

15.3.8 Scheda tecnica

In merito alle vibrazioni in ambito terrestre si riportano le seguenti schede tecniche:

- Scheda tecnica 1 - Vibrazioni - Fase *ante operam*
- Scheda tecnica 2 – Vibrazioni – Fase corso d’opera
- Scheda tecnica 3 – Vibrazioni – Fase *post operam*

Scheda tecnica 1 – Vibrazioni - Fase *ante operam*

VIBRAZIONI – ANTE OPERAM (AO)						
Obiettivi specifici del MA	Ambito	Localizzazione dei monitoraggi	Parametro descrittore	Frequenza/durata dei monitoraggi	Metodologia	Valore di riferimento
VALUTARE LO STATO DEI LUOGHI IN RELAZIONE AI LIVELLI VIBRAZIONALI (“SCENARIO DI BASE”) CONTROLLARE/EVIDENZIARE SITUAZIONI DI CRITICITÀ PREESISTENTI ALLA REALIZZAZIONE DELL’OPERA	Valutazione del disturbo delle persone	- edifici sensibili (ospedali, asili e case di riposo, scuole); - edifici abitativi	valore efficace dell’accelerazione ponderata a_w , (m/s ² o suoi sottomultipli)	Almeno una misurazione prima della realizzazione dell’opera La durata della misura è funzione del numero di eventi significativi del fenomeno in esame, della tipologia (in termini di segnale vibratorio) e del tempo di funzionamento delle sorgenti preesistenti	Analisi preliminari Valutazione delle condizioni ambientali del terreno Valutazione delle condizioni meteorologiche e ambientali esterne Caratterizzazione del segnale vibratorio delle sorgenti preesistenti Procedura di misura Metodologia di misura: UNI 9614 Strumentazione di misura: UNI EN ISO 8041 Posizione dei rilievi strumentali: UNI 9614 Fissaggio traduttori: UNI ISO 5348 Elaborazione dati: UNI 9614	UNI 9614
	valutazione degli effetti sugli edifici	- edifici di interesse storico architettonico oggetto di tutela	velocità massima di vibrazione (mm/s): - velocità di picco puntuale (p.p.v) - velocità di picco di una componente puntuale (pcpv)	Almeno una misurazione prima della realizzazione dell’opera, nel caso di edifici di particolare interesse storico-architettonico oggetto di tutela La durata della misura è funzione della tipologia (in termini di segnale vibratorio) e del tempo di funzionamento delle sorgenti AO	Analisi preliminari vedi sopra Procedura di misura Strumentazione di misura: UNI EN ISO 8041 Posizione dei rilievi strumentali: UNI 9916 Fissaggio trasduttori: UNI ISO 5348 Metodologia di misura: UNI 9916 Elaborazione dati: UNI 9916	UNI 9916 (Appendice D)
Stimare i contributi specifici delle sorgenti PREESISTENTI	Caratterizzazione emissione sorgente	- in prossimità della sorgente	- ampiezza dei livelli (velocità/accelerazione) - spettro in frequenza;	Eventuale misurazione prima della realizzazione dell’opera La durata della misura è funzione della tipologia (in termini di segnale	---	---

VIBRAZIONI – ANTE OPERAM (AO)						
Obiettivi specifici del MA	Ambito	Localizzazione dei monitoraggi	Parametro descrittore	Frequenza/durata dei monitoraggi	Metodologia	Valore di riferimento
			-durata/distribuzione temporale/ciclicità del fenomeno	vibratorio) e del tempo di funzionamento delle sorgenti AO		

Scheda tecnica 2 –Vibrazioni - Fase corso d’opera

VIBRAZIONI – CORSO D’OPERA (CO)						
Obiettivi specifici del MA	Ambito	Localizzazione dei monitoraggi	Parametro descrittore	Frequenza/durata dei monitoraggi	Metodologia	Valore di riferimento
VALUTARE LE VARIAZIONI DEI LIVELLI VIBRAZIONALI RILEVATI NELLO SCENARIO DI BASE GARANTIRE IL RISPETTO DEI LIMITI DI RIFERIMENTO DELLE NORME VIGENTI INDIVIDUARE EVENTUALI SITUAZIONI CRITICHE ALLO SCOPO DI PREVEDERE AZIONI CORRETTIVE VERIFICARE L’EFFICACIA DELLE EVENTUALI AZIONI CORRETTIVE	Valutazione del disturbo delle persone	- edifici sensibili (ospedali, asili e case di riposo, scuole); - edifici abitativi	valore efficace dell’accelerazione ponderata a_w , (m/s^2 o suoi sottomultipli)	La frequenza delle misure è funzione del cronoprogramma delle attività di cantiere. Le misure sono previste: - all’inizio di nuove fasi operative o di lavorazioni a potenziale vibrazionale significativo (es. palificazioni, compattazioni, scavi profondi); - alla realizzazione degli interventi di mitigazione; - al variare del fronte di lavorazione. La durata della misura è funzione del numero di eventi significativi del fenomeno in esame, della tipologia (in termini di segnale vibratorio) e del tempo di funzionamento delle attività di cantiere La durata del monitoraggio deve coprire l’intero arco temporale del cantiere. Per lavorazioni di lunga durata si possono programmare misure con frequenza bimestrale, trimestrale o semestrale, a seconda dell’intensità e della variabilità delle attività di cantiere	Analisi preliminari Valutazione delle condizioni ambientali del terreno Valutazione delle condizioni meteorologiche e ambientali esterne Caratterizzazione del segnale vibratorio delle sorgenti CO - Caratterizzazione del traffico indotto dalle attività di cantiere Procedura di misura Strumentazione di misura: UNI EN ISO 8041 Posizione dei rilievi strumentali: UNI 9614 Fissaggio trasduttori: UNI ISO 5348 Metodologia di misura e elaborazione dati: UNI 9614. Per l’individuazione degli eventi significativi: Appendice A.4 UNI 9614:2017 – vibrazioni prodotte da attività di cantiere	UNI 9614
	Valutazione degli effetti sugli edifici	- edifici di interesse storico architettonico oggetto di tutela - edifici sensibili e edifici abitativi (in caso di superamento dei limiti UNI 9614)	velocità massima di vibrazione (mm/s):	Eventuali misurazioni durante le attività di cantiere, nei casi di edifici di particolare interesse storico- architettonico oggetto di tutela e/o di edifici sensibili e abitativi con superamento dei limiti UNI 9614 La frequenza delle misure è funzione del cronoprogramma delle attività di cantiere La durata della misura è funzione della tipologia (in termini di segnale vibratorio) e del tempo di funzionamento delle attività di cantiere	Analisi preliminari vedi sopra Procedura di misura Strumentazione di misura: UNI EN ISO 8041 Posizione dei rilievi strumentali: UNI 9916 Fissaggio trasduttori: UNI ISO 5348 Metodologia di misura e elaborazione dati: UNI 9916	UNI 9916 (Appendice D)

VIBRAZIONI – CORSO D'OPERA (CO)						
Obiettivi specifici del MA	Ambito	Localizzazione dei monitoraggi	Parametro descrittore	Frequenza/durata dei monitoraggi	Metodologia	Valore di riferimento
				La durata del monitoraggio deve coprire l'intero arco temporale del cantiere		
Stimare i contributi DELLE ATTIVITA' DI CANTIERE (specifiche lavorazioni/macchinari)	Caratterizzazione emissione sorgente	- in prossimità della sorgente	-ampiezza dei livelli (velocità/accelerazione) -spettro in frequenza -durata/distribuzione temporale/ciclicità del fenomeno	Eventuale misurazione all'avvio della specifica attività di cantiere La durata della misura è funzione della tipologia (in termini di segnale vibratorio) e del tempo di funzionamento delle attività di cantiere	---	---
Valutare il rispetto di prescrizioni, procedure, vincoli autorizzativi, modalità operazionali/gestionali previste nello SIA	Verifiche procedurali	---	---	Il monitoraggio è effettuato: all'avvio del cantiere all'avvio di fasi specifiche quando previsto da protocollo operativo quando previsto da procedure/prescrizioni impartite da autorità di controllo.	La metodologia di verifica prevede: sopralluoghi, videoregistrazioni, acquisizione di documenti relativi alle caratteristiche delle macchine, ai protocolli operativi...	---

Scheda tecnica 3 –Vibrazioni - Fase *post operam*

VIBRAZIONI – POST OPERAM (PO)						
Obiettivi specifici del MA	Ambito oggetto del PMA	Localizzazione dei monitoraggi	Parametro descrittore	Frequenza/durata dei monitoraggi	Metodologia di riferimento	Valore limite o valore standard di riferimento
VALUTARE LE VARIAZIONI DEI LIVELLI VIBRAZIONALI RILEVATI NELLO SCENARIO DI BASE GARANTIRE IL RISPETTO DEI LIMITI DI RIFERIMENTO DELLE NORME VIGENTI VERIFICARE L'EFFICACIA DI INTERVENTI DI MITIGAZIONE (DEFINITI NELLO SIA)	Valutazione del disturbo alle persone	- edifici sensibili (ospedali, asili e case di riposo, scuole); - edifici abitativi	valore efficace dell'accelerazione ponderata a_w , (m/s ² o suoi sottomultipli)	Almeno una misurazione all'entrata in esercizio e nelle condizioni di esercizio di progetto dell'opera oggetto di VIA. La durata della misura è funzione del numero di eventi significativi del fenomeno in esame, della tipologia (in termini di segnale vibratorio) e del tempo di funzionamento della sorgente (opera oggetto di VIA).	Analisi preliminari Valutazione delle condizioni ambientali del terreno Valutazione delle condizioni meteorologiche e ambientali esterne Caratterizzazione del segnale vibratorio della sorgente (opera oggetto di VIA) Caratterizzazione del traffico indotto dalla sorgente (opera oggetto di VIA) Procedura di misura Strumentazione di misura: UNI EN ISO 8041 Posizione dei rilievi strumentali: UNI 9614 Fissaggio trasduttori: UNI ISO 5348 Metodologia di misura e elaborazione dati: UNI 9614 Per l'individuazione degli eventi significativi: Appendice A UNI 9614 - A.2: vibrazioni prodotte da traffico ferroviario - A.3: vibrazioni prodotte da traffico stradale - A.5: vibrazioni prodotte da sorgenti industriali - A7 – vibrazioni stazionarie ed ergodiche	UNI 9614
	Valutazione degli effetti sugli edifici	- edifici di interesse storico architettonico oggetto di tutela - edifici sensibili e edifici abitativi (in caso di superamento dei limiti UNI 9614)	velocità massima di vibrazione (mm/s): - velocità di picco puntuale (p.p.v) - velocità di picco di una componente puntuale (pcpv)	Almeno una misurazione all'entrata in esercizio e nelle condizioni di esercizio di progetto dell'opera oggetto di VIA, nei casi di edifici di particolare interesse storico-architettonico oggetto di tutela e/o di edifici sensibili e abitativi con superamento dei limiti UNI 9614 La durata della misura è funzione della tipologia (in termini di segnale vibratorio) e del tempo di funzionamento della sorgente (opera oggetto di VIA)	Analisi preliminari vedi sopra Procedura di misura Strumentazione di misura: UNI EN ISO 8041 Posizione dei rilievi strumentali: UNI 9916 Fissaggio trasduttori: UNI ISO 5348 Metodologia di misura e elaborazione dati: UNI 9916	UNI 9916 (Appendice D)

VIBRAZIONI – POST OPERAM (PO)						
Obiettivi specifici del MA	Ambito oggetto del PMA	Localizzazione dei monitoraggi	Parametro descrittore	Frequenza/durata dei monitoraggi	Metodologia di riferimento	Valore limite o valore standard di riferimento
STIMARE IL CONTRIBUTO SPECIFICO DELL'OPERA OGGETTO DI VIA	Caratterizzazione emissione sorgente	- in prossimità della sorgente	-ampiezza dei livelli (velocità/accelerazione); -spettro in frequenza; -durata/ciclicità fenomeno	Eventuale misurazione all'entrata in esercizio e nelle condizioni di esercizio di progetto dell'opera oggetto di VIA La durata della misura è funzione della tipologia (in termini di segnale vibratorio) e del tempo di funzionamento della sorgente (opera oggetto di VIA)	---	

15.4 Inquinamento luminoso

15.4.1 Obiettivi specifici del monitoraggio ambientale

Il monitoraggio di questa componente si articola in tre fasi temporali: *ante operam*, corso d'opera e *post operam*. Gli obiettivi principali di un PMA per l'inquinamento luminoso possono essere riassunti come segue:

- rilevare e caratterizzare lo "stato di bianco" dell'area interessata nella fase *ante operam*, ovvero i livelli di illuminazione preesistenti, come riferimento per le successive valutazioni;
- controllare le emissioni luminose indotte dalle attività di cantiere, specialmente durante le lavorazioni notturne, al fine di prevenire l'insorgere di emergenze specifiche e garantire l'adozione di opportune misure di mitigazione degli impatti.
- verificare l'impatto luminoso conseguente alla realizzazione dell'opera nella fase *post operam*, in relazione all'ambiente naturale e antropico.
- accertare l'efficacia delle misure di mitigazione e compensazione adottate e valutarne la necessità di interventi aggiuntivi per il contenimento dell'inquinamento luminoso.

15.4.2 Ambito oggetto del monitoraggio ambientale

15.4.2.1 Ambito normativo

A livello nazionale non è presente una normativa di riferimento sull'inquinamento luminoso; a livello regionale le norme, generalmente, prevedono l'adozione di un piano comunale per l'illuminazione pubblica. Le leggi regionali si concentrano soprattutto sui requisiti tecnici delle singole sorgenti luminose, con particolare riferimento alla quota parte del flusso emesso verso l'alto. Per questa ragione, il monitoraggio diretto dell'inquinamento luminoso risulta assimilabile a una verifica di conformità progettuale, più che a un monitoraggio ambientale in senso stretto. Non mancano, in ogni caso, regioni la cui legislazione prevede il rispetto di requisiti tecnici più stringenti o di valori limite delle grandezze fotometriche sulle superfici illuminate: in quest'ultimo caso, è necessario che il monitoraggio sia realizzato con idonea strumentazione di misura.

15.4.2.2 Ambito di indagine

Per questa tematica, solo alcune leggi regionali stabiliscono valori limite diretti per l'inquinamento luminoso in termini di impatto ambientale misurabile. I riferimenti normativi si concentrano maggiormente sui requisiti tecnici di progettazione, realizzazione e gestione degli impianti di illuminazione al fine di minimizzare la dispersione luminosa e ottimizzare il consumo energetico.

15.4.3 Localizzazione delle aree di indagine e dei punti di monitoraggio

L'estensione dell'area oggetto delle indagini per questa componente dipende dalla superficie che è necessario illuminare e dal contesto che contribuisce all'inquinamento luminoso complessivo.

Le aree sensibili da considerare per il monitoraggio sono quelle dove si presume che l'inquinamento luminoso possa alterare gli equilibri naturali, in particolare le aree naturalistiche protette e quelle in prossimità di osservatori astronomici.

15.4.4 Parametri descrittivi (indicatori)

A seconda dei requisiti previsti dalle leggi regionali, i parametri descrittivi riguardano le caratteristiche della sorgente luminosa, delle superfici illuminate e i criteri di progettazione:

- grandezze fotometriche delle sorgenti luminose: flusso luminoso, efficienza luminosa, rendimento, curve fotometriche, temperatura di colore, indice di resa cromatica;
- grandezze fotometriche delle superfici illuminate: illuminamento, luminanza;

-
- parametri legati all'esercizio degli impianti: parametri geometrici dei corpi illuminanti, criteri di regolazione del flusso luminoso.

15.4.5 Frequenza e durata dei monitoraggi

La pianificazione della tempistica e della densità dei campionamenti deve essere commisurata alla tipologia dell'opera e delle lavorazioni di cantiere, in relazione alle tre fasi di cui è costituito il PMA:

- fase *ante operam*: il monitoraggio prevede il rilevamento dello "stato di bianco", soprattutto nelle condizioni di maggior impatto;
- fase in corso d'opera: si deve garantire il controllo delle emissioni luminose indotte dalle attività di cantiere, in particolare durante le lavorazioni notturne, seguendo l'evoluzione delle lavorazioni;
- fase *post operam*: il monitoraggio deve concentrarsi sulla verifica della corretta scelta e posizionamento dei corpi illuminanti e sull'impatto luminoso complessivo. La durata delle verifiche e delle misure deve essere sufficiente a valutare l'entità degli impatti sui periodi di riferimento, considerando anche eventuali fluttuazioni dovute alla variabilità stagionale e annuale.

15.4.6 Metodologie di riferimento/tecniche di misura

Lo studio dell'inquinamento luminoso deve valutare la compatibilità dell'intervento di progetto con le specifiche tecniche delle normative di settore, relative alla progettazione, realizzazione e gestione degli impianti di illuminazione. Deve inoltre valutare la compatibilità dell'ubicazione dell'intervento con aree di particolare tutela, come osservatori astronomici, aree naturali protette e aree di elevato valore ambientale/sociale/culturale. È anche necessario monitorare il ricorso a specifiche limitazioni sull'emissione del flusso luminoso in determinate fasce orarie.

Nella fase di corso d'opera, in particolare, il controllo delle emissioni luminose indotte dalle attività di cantiere, in particolare durante le lavorazioni notturne, deve seguire l'evoluzione delle lavorazioni e della configurazione del cantiere stesso, al fine di prevenire situazioni potenzialmente critiche. A tal proposito, è opportuno prevedere la rilevazione della luce dispersa dagli impianti di cantiere verso aree non interessate alle lavorazioni.

Infine, è necessario che in fase di monitoraggio sia verificato il rispetto delle prescrizioni riguardanti la prossimità di aree di particolare tutela, soprattutto per quanto attiene agli osservatori astronomici per i quali la normativa regionale prevede distanze minime da rispettare per l'installazione degli impianti.

15.4.7 Valori di riferimento

Nell'ambito del monitoraggio inteso come verifica della tipologia e consistenza dei dispositivi installati, gli impianti di illuminazione sono generalmente considerati "anti-inquinamento luminoso" se le curve fotometriche presentano un'intensità luminosa massima di 0 cd/1 klumen a 90° ed oltre. Inoltre, a seconda delle specifiche disposizioni delle leggi regionali, può essere richiesta la verifica di ulteriori requisiti, quali l'utilizzo di lampade ad alta efficienza o con determinato valori di temperatura di colore.

Si deve osservare, ad ogni modo, che per la progettazione illuminotecnica degli impianti è obbligatorio attenersi ai requisiti tecnici previsti dalle norme UNI, alle cui specifiche fanno riferimento le leggi regionali che prevedono il rispetto di valori limite di alcune grandezze fotometriche.

15.4.8 Scheda tecnica

Voce	Contenuto sintetico
Fasi di monitoraggio	<i>Ante operam:</i> rilievo dello stato di bianco; Corso d'opera: controllo delle emissioni luminose indotte dalle varie fasi di cantiere; <i>Post operam:</i> verifica dell'impatto luminoso dell'opera e dell'efficacia delle misure di mitigazione.
Obiettivi specifici	Rilevare i livelli di illuminazione preesistenti; Controllare le emissioni luminose delle diverse fasi di cantiere; Verificare la conformità dell'impianto realizzato ai requisiti tecnici e normativi; Valutare l'efficacia delle misure di mitigazione e proporre eventuali interventi correttivi.
Ambito normativo di riferimento	Leggi regionali in materia di inquinamento luminoso; Norme UNI sugli impianti di illuminazione esterna
Aree di indagine	Zone illuminate dall'opera e aree circostanti potenzialmente soggette a dispersione luminosa; Aree sensibili quali siti naturalistici protetti e osservatori astronomici.
Parametri descrittivi (indicatori)	Sorgenti luminose: flusso luminoso, efficienza, temperatura di colore, indice di resa cromatica, intensità luminosa a 90° e oltre. Superfici illuminate: illuminamento, luminanza. Gestione impianti: regolazione del flusso, orari di funzionamento, schermature.
Metodologie e tecniche di misura	Misurazioni fotometriche in campo dei valori di illuminamento e luminanza; Rilievi per la brillantezza del cielo; Verifiche delle specifiche di progetto e delle prescrizioni regionali.
Valori di riferimento	Intensità luminosa ≤ 0 cd/1 klm a 90° e oltre; Rispetto dei limiti di previsti dalle leggi regionali.
Frequenza e durata del monitoraggio	<i>Ante operam:</i> da valutare in relazione all'intensità degli impianti nell'area; Corso d'opera: controlli e durate dipendenti dalle fasi del cantiere; <i>Post operam:</i> verifica annuale per almeno un ciclo stagionale completo.

15.5 Radiazioni non ionizzanti

15.5.1 Obiettivi specifici del monitoraggio ambientale

Gli obiettivi principali del monitoraggio ambientale della componente campi elettromagnetici nell'ambito VIA sono i seguenti:

- valutare lo stato elettromagnetico preesistente dell'ambito territoriale in cui si inserirà la nuova opera;
- valutare le eventuali variazioni dei livelli di campo elettromagnetico che intervengono nell'ambiente a seguito della realizzazione e della messa in esercizio dell'opera e verificarne il rispetto dei valori limite di riferimento; in particolare, occorre tutelare la popolazione da esposizioni a livelli di campo elettromagnetico superiori ai limiti stabiliti dalla normativa vigente;
- verificare le analisi condotte nell'ambito del SIA, al fine di verificare l'attendibilità delle previsioni modellistiche effettuate anche con riferimento al rispetto, presso tutti i ricettori sensibili ritenuti critici, dei limiti previsti dalla normativa di riferimento sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici;
- verificare l'efficacia delle mitigazioni progettate nel SIA.

15.5.2 Ambito oggetto del monitoraggio ambientale

15.5.2.1 Ambito normativo

- Legge 22 febbraio 2001, n. 36 è la "Legge quadro sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici" (GU n.55 del 07-03-2001).
- D.P.C.M. 08.07.2003 "Fissazione dei limiti di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni ai campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici generati a frequenze comprese tra 100kHz e 300GHz" (GU n. 199 del 28 agosto 2003).
- D.P.C.M. 08.07.2003 "Fissazione dei limiti di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni ai campi elettrici e magnetici alla frequenza di rete (50 Hz) generati dagli elettrodotti" (GU n. 200 del 28 agosto 2003).
- Legge n. 221 del 17/12/2012 "Conversione in legge, con modificazioni, del decreto-legge 18 ottobre 2012, n. 179, recante ulteriori misure urgenti per la crescita del Paese" (GU n.294 del 18-12-2012 - Suppl. Ordinario n. 208).
- Legge n. 214 del 30/12/2023 "Legge annuale per il mercato e la concorrenza 2022" (GU n.303 del 30-12-2023).
- Decreto 29 maggio 2008 "Approvazione della metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto per gli elettrodotti" (GU n. 156 del 5 luglio 2008 Supplemento ordinario n.160).
- Decreto 29 maggio 2008 Approvazione delle procedure di misura e valutazione dell'induzione magnetica. (GU Serie Generale n.153 del 02-07-2008).
- D.M. 02.12.2014 Linee guida, relative alla definizione delle modalità con cui gli operatori forniscono all'ISPRA e alle ARPA/APPA i dati di potenza degli impianti e alla definizione dei fattori di riduzione della potenza da applicare nelle stime previsionali per tener conto della variabilità temporale dell'emissione degli impianti nell'arco delle 24 ore. (14A09740) (GU Serie Generale n.296 del 22-12-2014).
- D.M. 5 ottobre 2016 "Approvazione delle Linee guida sui valori di assorbimento del campo elettromagnetico da parte delle strutture degli edifici" (GUn.252 del 27 ottobre 2016).
- D.M. 7 dicembre 2016 "Approvazione delle Linee guida, predisposte dall'ISPRA e dalle ARPA/APPA, relativamente alla definizione delle pertinenze esterne con dimensioni abitabili. (17A00399)" (GU Serie Generale n.19 del 24-01-2017)

- Linee Guida SNPA 54/2025 per la misura dei campi elettromagnetici generati da sistemi di telecomunicazione in tecnologia 5G” Delibera del Consiglio SNPA n.262/24 del 26.11.2024
- Norma CEI 211-4 (2008-09) “Guida ai metodi di calcolo dei campi elettrici e magnetici generati da linee e da stazioni elettriche”
- Norma 211-6 (2001-01) “Guida per la misura e per la valutazione dei campi elettrici e magnetici nell’intervallo di frequenza 0 Hz - 10 kHz, con riferimento all’esposizione umana”
- Norma 211-7 (2001-01) “Guida per la misura e per la valutazione dei campi elettromagnetici nell’intervallo di frequenza 10 kHz - 300 GHz, con riferimento all’esposizione umana”
- Norma 211-7/A (2006-05) “Guida per la misura e per la valutazione dei campi elettromagnetici nell’intervallo di frequenza 10 kHz - 300 GHz, con riferimento all’esposizione umana Appendice A: Centraline di monitoraggio dei campi elettromagnetici a radiofrequenza: procedure e finalità di utilizzo”
- Norma 211-7/E (2019-11) “Guida per la misura e per la valutazione dei campi elettromagnetici nell’intervallo di frequenza 10 kHz - 300 GHz, con riferimento all’esposizione umana Appendice E: Misura del campo elettromagnetico da stazioni radio base per sistemi di comunicazione mobile (2G, 3G, 4G, 5G)”
- Norma 211-10 (2024-06) “Guida alla realizzazione di una Stazione Radio Base per rispettare i limiti di esposizione ai campi elettromagnetici in alta frequenza”

15.5.2.2 Ambito di indagine

Di seguito si riportano elementi di dettaglio, relativamente alle indagini da effettuare nelle varie fasi di monitoraggio:

Ante operam:

- misurare i valori di campo elettromagnetico di fondo presente nell’ambito territoriale interessato dall’opera in progetto, laddove siano già presenti altre sorgenti elettromagnetiche e/o ricettori sensibili, in modo da caratterizzare la componente in esame prima dell’apertura dei cantieri e della fase di esercizio dell’opera. In questa fase occorre quindi censire con precisione tutti i ricettori sensibili finalizzando tale indagine all’ubicazione dei punti di monitoraggio in corso d’opera e post-operam. Occorre anche valutare la tipologia e le caratteristiche dell’opera e delle altre sorgenti elettromagnetiche eventualmente presenti che possano creare situazioni complesse, tali da modificare il livello complessivo di campo elettromagnetico;

Corso d’opera:

- verificare che i macchinari, i mezzi utilizzati e le lavorazioni svolte in fase di cantiere comportino una variazione di clima elettromagnetico coerente con le previsioni d’impatto del SIA;
- individuare eventuali situazioni critiche che si dovessero verificare nella fase di realizzazione dell’opera, allo scopo di prevedere modifiche alla gestione/pianificazione temporale delle attività del cantiere e/o realizzazione di adeguati interventi di mitigazione di tipo temporaneo;
- verificare l’efficacia delle eventuali azioni correttive per ridurre i livelli di campo elettromagnetico oggetto di indagine.

Post operam:

- misurare i livelli di campo elettromagnetico conseguenti alla realizzazione dell’opera e confrontarli con quelli rilevati in fase ante-operam. Inoltre, in questa fase, occorrerà tenere presenti anche eventuali nuovi impianti sorgenti di radiazioni elettromagnetiche e/o nuovi ricettori sensibili ritenuti critici (ad es. nuovi edifici residenziali, nuovi ospedali, ecc) non ancora presenti in fase di ante-operam oppure non contemplati nel SIA;
- verificare il rispetto delle previsioni modellistiche realizzate in fase di progettazione e rappresentate nel SIA;

- accertare la reale efficacia degli eventuali provvedimenti posti in essere per garantire la mitigazione dell'impatto elettromagnetico.

15.5.3 Localizzazione delle aree di indagine e dei punti di monitoraggio

Al fine di individuare le aree di indagine e i relativi punti di monitoraggio occorre una conoscenza preventiva del territorio da monitorare per evidenziare nel contesto territoriale in esame:

- tipologia e caratteristiche geometriche, meccaniche ed elettriche dell'opera;
- tipologia e caratteristiche geometriche, meccaniche ed elettriche di altre sorgenti elettromagnetiche già installate e in progetto;
- ubicazione e tipologia dei ricettori sensibili ritenuti critici.

Secondo quanto disposto dalla normativa vigente, per ricettori sensibili si intendono i luoghi adibiti a permanenze non inferiori alle quattro ore giornaliere, ovvero ove ci si può ragionevolmente attendere che la popolazione trascorra una parte significativa della giornata (es. ambienti abitativi, scuole, ospedali) o limitata a poche ore al giorno (es. aree gioco per l'infanzia). Al fine di individuare correttamente questo tipo di ricettore il 7 dicembre 2016 è stato emanato dal MASE il DM "Approvazione delle Linee guida, predisposte dall'ISPRA e dalle ARPA/APPA, relativamente alla definizione delle pertinenze esterne con dimensioni abitabili".

Al fine dell'identificazione dei punti di monitoraggio, è necessario fare riferimento allo studio elettromagnetico predisposto in ambito di SIA, con particolare riguardo a:

- ubicazione e descrizione, in particolare, delle caratteristiche geometriche, meccaniche ed elettriche dell'opera in esame;
- ubicazione e descrizione, in particolare, delle caratteristiche geometriche, meccaniche ed elettriche delle altre sorgenti elettromagnetiche presenti nell'area di influenza;
- individuazione dei ricettori sensibili posti nell'area di influenza dell'opera in esame, con indicazione dei valori limite ad essi associati;
- valutazione dei livelli di campo elettromagnetico previsionali (*ante operam*, in corso d'opera e *post operam*) in corrispondenza dei ricettori censiti;
- descrizione degli interventi di mitigazione previsti (specifiche prestazionali, tipologia, localizzazione e dimensionamento);
- il numero e la posizione dei punti di rilievo devono essere tali da consentire una corretta caratterizzazione della distribuzione del campo elettromagnetico e devono tener conto della tipologia e della distanza dalla sorgente;
- l'individuazione dei punti da monitorare può essere effettuata in base a modellizzazioni numeriche previsionali, ma anche in base a sopralluoghi effettuati in collaborazione con le Autorità locali competenti, al fine di determinare i punti idonei sul territorio, tenendo conto delle specifiche criticità, della disponibilità dei Comuni, dell'esistenza di reti locali di monitoraggio per l'integrazione dei dati, delle esigenze pratiche di operare in condizioni di sicurezza per il personale addetto, della facilità di accesso al punto di monitoraggio, della disponibilità di energia elettrica e di linee telefoniche. I siti individuati devono essere tali da permettere la ripetitività della misura ed inoltre, a ciascuna misura, deve poter essere associata l'area di rappresentatività. Deve anche essere prevista la possibilità di effettuare monitoraggi in contraddittorio da parte dell'Ente di controllo.

15.5.4 Parametri descrittivi (indicatori)

Nel corso delle campagne di monitoraggio, nelle tre fasi temporali in cui il monitoraggio è articolato, devono essere rilevati i seguenti parametri:

1. parametri elettromagnetici;
2. parametri di inquadramento territoriale.

I parametri elettromagnetici rilevati nelle postazioni di monitoraggio sono delle grandezze fisiche finalizzate a descrivere i livelli di campo elettromagnetico e a verificare il rispetto di determinati valori limite di riferimento. Tali grandezze fisiche sono rappresentate dall'intensità di campo elettrico e di campo magnetico. La specifica di quale grandezza debba essere misurata (e cioè se solo il campo elettrico, solo il campo magnetico o entrambi) dipende dalle caratteristiche della sorgente, dalla relativa frequenza di funzionamento e dalla distanza del punto di misura da essa.

È necessario riporre attenzione alle condizioni climatiche che devono essere compatibili con il tipo di strumentazione di misura utilizzata e devono essere ben indagate le condizioni al contorno, evitando la presenza di elementi perturbativi lungo il percorso propagativo del campo elettromagnetico che, se trascurati, possono dar luogo ad errori consistenti.

Occorre stabilire una procedura da seguire nel caso in cui dai rilievi strumentali di campo da parte dei tecnici preposti al monitoraggio venga evidenziata una situazione anomala rispetto ai valori attesi. Tale procedura dovrà fornire tutti gli elementi necessari (dettagli sui rilievi effettuati per la conferma del dato anomalo, parametri indicatori risultati superiori alle soglie di attenzione/allarme e/o osservazioni di situazioni ritenute non conformi ai valori attesi, azioni da intraprendere in caso di anomalia accertata) al fine di consentire agli organi preposti di verificare le azioni intraprese per risanare l'azione che ha generato l'anomalia.

Ai fini di una completa caratterizzazione delle aree di indagine individuate e dei relativi punti di misura occorre definire una serie di parametri di inquadramento territoriale. I risultati delle grandezze fisiche oggetto di misurazione vanno associati alle sorgenti presenti sul territorio, determinando le distanze tra punto di rilevamento e sorgente; analogamente, per quanto riguarda la posizione dei ricettori. Inoltre, devono essere forniti tutti gli elementi informativi (descrittivi, fotografici e planimetrici) atti a rintracciare agevolmente e inequivocabilmente i punti in cui avvengono le misurazioni.

I dati e le informazioni occorrenti per localizzare il punto di misurazione, caratterizzare l'area ad esso circostante e riportare i valori delle grandezze fisiche ottenute sono quelli di seguito riportati:

- dati localizzativi (toponimo, Comune e codice ISTAT);
- dati del ricettore, con particolare riferimento alla sua tipologia (es. aree gioco per l'infanzia, ambienti abitativi, ambienti scolastici);
- principali sorgenti elettromagnetiche lineari (es. linee elettriche) e puntuali (es. stazioni radio base, cabine elettriche) presenti nell'intorno del punto di misurazione;
- altezza del punto sul piano campagna, distanza dalle sorgenti lineari e puntuali;
- dati sulle misurazioni (date e orari di inizio e fine dei rilevamenti, valori misurati delle grandezze fisiche oggetto d'indagine);
- stralcio planimetrico di progetto per l'esatta ubicazione del punto di misurazione;
- documentazione fotografica da terra del punto;
- eventuali annotazioni d'interesse sulle indagini e sul territorio.

I dati e le informazioni ottenute nel corso dei rilevamenti in campo devono essere raccolti e organizzati in modo tale da permettere una corretta valutazione dei risultati, una completa riconoscibilità e rintracciabilità del dato nonché la ripetibilità della misura/valutazione.

15.5.5 Frequenza e durata dei monitoraggi

Vedi paragrafo 15.5.6

15.5.6 Metodologie di riferimento/tecniche di misura

Gli strumenti di misura vengono scelti sulla base del tipo di sorgente di radiazione elettromagnetica da indagare, dell'ambiente e dello scopo delle misure.

La specifica di quale grandezza debba essere misurata (e cioè se solo il campo elettrico, solo il campo magnetico o entrambi) dipende dalle caratteristiche della sorgente, dalla frequenza e dalla distanza del punto di misura da essa.

Infatti, la struttura stessa del campo elettromagnetico varia notevolmente in funzione della distanza r dalla sorgente, rapportata alla lunghezza d'onda λ della radiazione elettromagnetica, e dalla dimensione D della sorgente stessa.

A questo proposito, si è soliti distinguere tre regioni, con l'ovvia considerazione che non si tratta di zone separate da barriere precise, ma che sfumano una nell'altra con continuità:

- la regione dei campi reattivi ($r < \lambda / 10$);
- la regione dei campi radiativi vicini o zona di Fresnel (r compreso tra $\lambda / 10$ e il valore maggiore tra λ e $2D^2 / \lambda$);
- la regione dei campi radiativi lontani o zona di Fraunhofer (r superiore al valore maggiore tra λ e $2D^2 / \lambda$).

Nella regione dei campi reattivi occorre misurare indipendentemente sia il campo elettrico sia il campo magnetico poiché essi non possono essere dedotti l'uno dall'altro. Per la misurazione occorre utilizzare sensori di dimensioni piccole rispetto sia alla lunghezza d'onda sia all'estensione dell'area da caratterizzare. Nel caso degli impianti di telecomunicazione, questa situazione si può verificare unicamente in relazione ai trasmettitori ad onde medie; già nella banda delle radio FM, infatti, esposizioni nella regione dei campi reattivi possono riguardare tutt'al più il personale addetto alla manutenzione degli apparati.

Nella regione dei campi radiativi (vicini o lontani) è in genere sufficiente misurare o il solo campo elettrico o il solo campo magnetico, calcolando la grandezza non misurata in base alle note relazioni d'onda piana.

Nella zona di campo radiato vicino, il campo elettrico ed il campo magnetico sono correlati punto a punto ma con grosse variazioni spaziali dell'intensità. Nella regione dei campi radiativi vicini è necessario utilizzare sensori di dimensioni opportune rispetto alla lunghezza d'onda, mentre nella zona lontana possono essere usate antenne estese (cioè, paragonabili o grandi rispetto alla lunghezza d'onda), purché sufficientemente compatte nei confronti dell'estensione dell'area da caratterizzare.

Di seguito si riportano ulteriori elementi relativamente alle:

- misurazioni in banda larga alle alte frequenze;
- misurazioni in banda larga alle basse frequenze;
- misurazioni in banda larga con centraline di monitoraggio;
- misurazioni in banda stretta alle alte frequenze;
- calcoli previsionali nel processo di verifica del superamento dei limiti di legge.

15.5.6.1 Misurazioni in banda larga alle alte frequenze

Per le misure di esposizione dei campi elettromagnetici in banda larga vengono impiegati strumenti che, entro un certo intervallo di frequenza, hanno una sensibilità pressoché indipendente dalla frequenza e forniscono il valore globale del campo elettrico o magnetico nell'intervallo considerato (sonde isotropiche). La larghezza di banda deve essere abbastanza ampia da consentire la misura di tutte le frequenze rilevanti.

Nel caso di misure volte alla verifica della conformità ai limiti imposti da legislazioni o norme tecniche, è sufficiente effettuare soltanto misure di campo in banda larga se:

- le misure sono volte ad individuare punti critici in una zona in cui insistono più impianti;
- il valore misurato in banda larga non supera il 75 % del valore del limite più basso applicabile fra quelli relativi alle frequenze di emissione delle sorgenti presenti.

La catena di misura utilizzata per effettuare i rilievi di campo elettromagnetico in banda larga alle alte frequenze consiste in uno strumento che, funzionalmente, è composto da: sistema di ricezione del segnale (antenna) costituito da una sonda di misura di campo magnetico e/o di campo elettrico, sistema di rivelazione per la visualizzazione/registrazione dei dati (strumento di misura).

Precisione ed affidabilità dei rilievi di campo elettromagnetico sono garantiti dall'adozione di procedure di misurazione adeguate e dalla taratura periodica degli strumenti.

Le procedure preliminari alla misurazione vera e propria sono ben descritte nella norma CEI 211-7 (e relative appendici) e nella Linea Guida SNPA 54/2025, di cui si riportano di seguito alcune informazioni principali (per maggiori dettagli si deve fare riferimento ai documenti citati).

L'allestimento della catena strumentale deve essere eseguito con estrema cura per contenere gli errori di misura entro limiti accettabili.

Nell'eseguire le misure di campi elettromagnetici si deve prendere in considerazione quanto di seguito riportato:

- acquisire il maggior numero possibile di informazioni sulle sorgenti e sulle caratteristiche di propagazione dei campi da esse generati ai fini della scelta di una opportuna strumentazione, dei punti e dei periodi di misura. Le informazioni sulle sorgenti riguardano non solo quelle oggetto d'indagine, ma anche quelle che potrebbero contribuire con segnali fuori banda;
- accertarsi che lo strumento di misura abbia le batterie completamente cariche;
- la sonda di campo elettrico o magnetico deve essere fissata su un cavalletto in materiale dielettrico che non influenzi le misure;
- per non influenzare la misura l'operatore deve porsi ad una distanza di almeno 3 metri dallo strumento;
- nel caso di misure in ambienti confinati, i punti di misura devono essere scelti a distanze dalle pareti di almeno tre volte la dimensione massima del sensore o dell'antenna, in modo da ottenere valori mediamente validi in tutto il locale;
- per analizzare le variazioni spaziali del campo, deve essere esaminato un numero di punti adeguato alla lunghezza d'onda del campo e alle dimensioni della sonda, per garantire che la misura possa rilevare valori approssimati, sia massimi che minimi. L'indagine spaziale deve permettere anche di valutare la variazione di campo lungo una superficie equivalente alla sezione verticale del corpo umano;
- nel caso si utilizzino antenne accordate di dimensioni non trascurabili (per esempio circa 2 metri per le radiotrasmissioni in modulazione di frequenza), l'indagine può essere limitata, per ogni punto di misura, ad una sola altezza dal suolo (l'altezza standard di 1,5 m) in quanto il risultato della misura costituisce già una media spaziale del campo sulla lunghezza dell'antenna;
- qualora l'analisi spaziale del campo individui l'esistenza di "punti caldi" è opportuno che la relazione tecnica riporti tutte le informazioni che possano permettere di individuare la probabilità di presenza e permanenza di persone in tali punti in modo da indirizzare a possibili successive azioni (risanamento, spostamento di postazioni di lavoro, segnalazione con cartelli, ecc.);
- per analizzare la variazione temporale del campo, la durata di ciascuna misura deve essere scelta in modo da caratterizzare adeguatamente la variazione del segnale in esame: per la misura di segnali ad alta frequenza, la normativa nazionale prevede, a seconda dei casi, tempi di rilievo di 6 minuti e 24 ore (per i dettagli si veda il paragrafo 15.5.7);
- per segnali costanti nel tempo (quali, ad esempio, segnali di radiodiffusione sonora FM che sono determinati dall'ampiezza dell'onda portante che si mantiene appunto costante), l'intervallo di misura può essere ridotto (alcune decine di secondi dell'ordine del tempo di stabilizzazione dello strumento);
- se la sorgente ha condizioni di funzionamento variabili nel tempo, nel caso di misure mediate su un intervallo di 6 minuti, la misura deve essere effettuata preferibilmente in condizioni di emissione massima, altrimenti si dovrebbe poter procedere al calcolo delle "condizioni peggiori" per estrapolazione;
- la misura di segnali digitali complessi e variabili nel tempo, come quelli dei sistemi mobili di nuova generazione (es. 5G) può risultare inadeguata se si utilizzano sonde a diodo che forniscono un corretto RMS del segnale solo se operano nella regione quadratica del diodo. Infatti, l'elevato fattore di cresta e la rapidità delle variazioni di ampiezza dei segnali con modulazioni complesse, possono causare una risposta della sonda non corretta che, nel caso dei 5G, porta ad una sovrastima della misura fino a dieci punti percentuali in alcune condizioni. Per questo motivo, già l'appendice C alla Guida CEI 211-7 aveva

introdotto il *Modulation Additional Error* (MAE) come parametro importante per valutare opportunamente le misure di segnali da sistemi per la realizzazione di accesso e collegamento radio a banda larga;

- nei punti di misura che distano dalle sorgenti meno di 1 m, occorre considerare le incertezze di misura dovute agli effetti di media delle sonde a bobina. Nei campi non uniformi conviene indicare le dimensioni della sonda e valutare gli effetti di media della sonda, se risultano significativi.

Le misurazioni devono essere effettuate negli spazi accessibili ai soggetti potenzialmente esposti, ma in assenza degli stessi soggetti (misurazioni di campo imperturbato).

Tutte le misurazioni volte alla verifica della conformità degli impianti e delle apparecchiature ai limiti prescritti da legislazioni o da norme tecniche devono essere effettuate con strumenti tarati.

L'incertezza della catena strumentale in uso deve essere minore di 3 dB.

Le misurazioni all'aperto devono essere eseguite in assenza di precipitazioni atmosferiche e con clima asciutto. La temperatura ambientale deve essere compresa nell'intervallo di buon funzionamento dichiarato dal costruttore della strumentazione utilizzata.

Procedura di misurazione del campo elettromagnetico generato da impianti radiotelevisivi (Radio AM, Radio FM, Radio digitale (DAB), TV analogica e digitale, Wi-Fi e Wi-Max)

Per le misurazioni in banda larga è normalmente utilizzato un sensore isotropico (costituito da tre dipoli elettrici o magnetici ortogonali). Nel caso sia utilizzato un sensore direzionale, esso deve essere orientato dall'operatore in tempi successivi secondo tre direzioni ortogonali tra loro.

In quest'ultimo caso, l'intensità complessiva del campo elettromagnetico si ottiene effettuando la radice quadrata della somma dei quadrati delle tre componenti misurate singolarmente. Più in generale, utilizzando un sensore isotropico, la misura in banda larga restituisce un risultato che è dato dalla somma di diversi contributi (cioè, tutte le frequenze attive nel momento di misura) e dal valore di fondo elettromagnetico.

In particolare, per gli impianti che trasmettono in modulazione di ampiezza, si potrà individuare, mediante utilizzo delle centraline di monitoraggio, la fascia oraria di massimo impatto, all'interno della quale eseguire cautelativamente la misurazione. Per il campo elettromagnetico generato da impianti Wi-Fi e Wi-Max si eseguiranno le misurazioni nel momento del massimo traffico, creandolo al momento della misurazione, collegando apposite apparecchiature (computer, palmari, tablet, smartphone) che interagiscano con i trasmettitori Wi-Fi e/o Wi-Max.

Procedura di misurazione del campo elettromagnetico generato da stazioni radio base – SRB (GSM/DCS, 2G, 3G, 4G, 5G)

Per le misure in banda larga vale quanto già detto per gli impianti radio; mediante tali misure è possibile verificare il valore di campo elettromagnetico.

Come già detto, per sorgenti variabili nel tempo, nel caso di misure mediate su un intervallo di 6 minuti, la misura deve essere effettuata preferibilmente in condizioni di emissione massima, altrimenti si dovrebbe poter procedere al calcolo delle "condizioni peggiori" per estrapolazione.

Per le SRB si potrà acquisire dal gestore l'indicazione della fascia oraria di massimo traffico in un periodo di 24 ore ed effettuare quindi la misura nel momento di picco massimo. Se non si conosce il momento del massimo traffico è possibile, a partire dalla misura, utilizzare tecniche di calcolo che richiedono la conoscenza del numero massimo di portanti delle sorgenti presenti e, quindi, il coinvolgimento del gestore. La misura in banda larga restituisce un risultato che sarà in generale la somma di diversi contributi e, nel caso di una SRB, sarà dato dal valore di fondo a cui sono sommati i contributi delle portanti attive in quel momento.

Occorre comunque tenere in considerazione le indicazioni fornite dalle normative tecniche vigenti sui riferimenti temporali da considerare per misurare i livelli di campo elettrico e magnetico da confrontare con i limiti normativi.

In considerazione delle criticità già evidenziate dalle sonde a diodo e tenuto conto che l'errore introdotto nella misura in banda larga di segnali 5G può potenzialmente essere elevato, è opportuno possedere i dati su test di laboratorio relativi alla caratterizzazione della risposta delle sonde a segnali in banda larga e con modulazioni

complesse al fine di conoscerne limiti e criticità nella rilevazione. Se non si hanno informazioni dal costruttore delle sonde, è possibile fare riferimento a dati in letteratura o test specifici di laboratorio per la stima del MAE.

Nei casi di misura di segnali 5G con bassi livelli di campo elettrico (1-2 V/m) è importante verificare la sensibilità e l'incertezza di linearità della sonda. Infatti, nei casi di bassa sensibilità ed elevata incertezza di linearità, i sensori possono dare risposte anche sottostimate.

Da tenere presente anche che le sonde con risposta in frequenza limitata (fino a 3 GHz) possono sovrastimare il campo elettrico se esposte a segnali 4G/5G o a larga banda fino a 6 GHz, a causa di risposte fuori banda non corrette. In merito a quanto detto, al par. 3.2 a pag. 40 del doc. LG SNPA 54/2025 sono riportate alcune indicazioni sull'uso in campo di misuratori in banda larga, in presenza di segnali 4G e 5G di intensità significativa (c.f.r. Tabella 3.1: Sovrastima della risposta dei misuratori in funzione dell'ampiezza di campo misurata a pag. 42 del doc. LG SNPA 54/2025).

Procedura di misurazione del campo elettromagnetico generato da ponti radio

Prima dell'esecuzione delle misure è necessario ottenere informazioni sul tipo di segnale trasmesso dall'impianto radio (frequenza, banda occupata dal canale, presenza di più canali radio, canalizzazione, potenza trasmessa e se la trasmissione è di tipo continuo o discontinuo).

Si consiglia di effettuare misure di campo elettrico in quanto è il parametro più facilmente misurabile viste le frequenze in gioco (da qualche GHz a circa 40 GHz).

Normalmente, i ponti radio utilizzano trasmissioni nelle due polarizzazioni verticale e orizzontale con una preferenza per la polarizzazione verticale; le misure devono perciò essere eseguite in entrambe le polarizzazioni.

Lettura dati

Lo strumento di misura, tramite la sonda isotropica opportunamente utilizzata, fornisce i valori efficaci di campo elettrico (E) e magnetico (B) complessivi in accordo a quanto riportato dalla norma CEI 211-7 (e relative appendici). Considerate le frequenze in gioco nelle misure su sorgenti in alta frequenza, ci troviamo praticamente sempre (tranne alcuni rarissimi casi di sorgenti ad onde medie, ormai quasi completamente in disuso) in condizioni di campo lontano. Per questo la misura su sorgenti in alta frequenza può essere fatta su una sola delle due grandezze fisiche e tipicamente si privilegia E perché molto più semplice da misurare.

I dati registrati dovrebbero essere usati per calcolare e documentare la durata dei livelli di campo nei diversi punti di misura e alle diverse frequenze. Si possono indicare altre informazioni statistiche, se ritenute interessanti.

15.5.6.2 Misurazioni in banda larga alle basse frequenze

Le sonde per misure a banda larga operano su un ampio range di frequenze e forniscono una risposta in ampiezza proporzionale a tutti i contributi dei campi presenti alle diverse frequenze della banda di funzionamento. Per tali tipologie di misure vengono utilizzate generalmente sonde isotropiche (triassiali) in quanto forniscono in uscita un segnale complessivo del campo. Le procedure preliminari alla misurazione vera e propria sono ben descritte nella guida CEI 211-4 e CEI 211-6 e sono qui riportate in maniera sintetica a seconda che si tratti di misura di campo magnetico oppure di campo elettrico (per maggiori dettagli si deve fare riferimento ai documenti citati).

Procedura di misurazione del campo magnetico

Ai fini della caratterizzazione di un dato ambiente o condizione di esposizione, dopo aver ovviamente scelto in modo adeguato e corretto la strumentazione da utilizzare per il rilievo del campo magnetico alle frequenze d'interesse, si dovrebbe eseguire un'indagine preliminare mediante misure "spot" per identificare i luoghi in cui i livelli di campo magnetico alla frequenza predominante (ad esempio quella industriale) sono più elevati. Pertanto, le misure di campo magnetico dovrebbero essere eseguite preferibilmente in periodi in cui le principali sorgenti (ad es. linee elettriche, apparecchiature industriali, ecc.) operano ai livelli più elevati delle loro correnti tipiche. Da questa indagine e/o dalla conoscenza dell'ubicazione delle sorgenti di campo magnetico, si possono identificare le postazioni in cui può risultare necessario eseguire misure più approfondite.

L'allestimento della catena strumentale deve essere eseguito con estrema cura per contenere gli errori di misura entro limiti accettabili.

Devono essere di conseguenza adottate le seguenti precauzioni:

- accertarsi che lo strumento di misura abbia le batterie completamente cariche;
- per analizzare le variazioni spaziali del campo, i punti di misura devono essere distribuiti in maniera uniforme sull'intera area da caratterizzare e devono essere in numero commisurato alla superficie in esame;
- la sonda può essere tenuta in mano senza perturbazioni significative del campo dovute alla vicinanza dell'osservatore. Sono trascurabili anche gli effetti di vicinanza di dielettrici. Tuttavia, le grandi strutture di metallo non ferroso possono perturbare significativamente il campo magnetico. In maniera maggiore, accanto ad oggetti ferrosi, il campo magnetico è perturbato in modo ancora più significativo;
- dove si presume che il campo magnetico sia abbastanza uniforme (ad esempio sotto linee elettriche oppure all'interno di stazioni elettriche), lo strumento di misura deve essere posizionato a 1,5 m di altezza dal piano di calpestio. In tutti gli altri casi, ad esempio per campi molto disuniformi, la sonda triassiale dovrebbe essere posta circa nelle posizioni previste per il centro del torso e della testa (da 1,1 m a 1,9 m); conviene riferirsi alla posizione corrispondente al valore più elevato del campo per determinare il punto in cui eseguire misure più approfondite;
- per analizzare la variazione temporale del campo, la durata di ciascuna misurazione deve essere tale da poter caratterizzare adeguatamente le variazioni del segnale in esame;
- per acquisire informazioni sufficientemente dettagliate sulle variazioni temporali, le misure dovrebbero essere registrate almeno ogni 30 s su periodi di 24 h per più giorni;
- se il campo è dovuto a una singola sorgente dominante e se le correnti di funzionamento sono conosciute in funzione del tempo, i risultati delle misure "spot" e la conoscenza della suddetta variazione temporale delle correnti possono essere usati per determinare le induzioni magnetiche in funzione del tempo;
- nei punti di misura che distano dalle sorgenti meno di 1 m, occorre considerare le incertezze di misura dovute agli effetti di media delle sonde a bobina. Nei campi non uniformi conviene indicare le dimensioni della sonda e valutare gli effetti di media della sonda, se risultano significativi.

Le misurazioni devono essere effettuate negli spazi accessibili ai soggetti potenzialmente esposti, ma in assenza degli stessi soggetti (misurazioni di campo imperturbato). Relativamente alla verifica del non superamento del valore di attenzione e dell'obiettivo di qualità occorre seguire le indicazioni riportate nel Decreto direttoriale 29/05/2008 "Approvazione delle procedure di misura e valutazione dell'induzione magnetica".

Tutte le misurazioni volte alla verifica della conformità degli impianti e delle apparecchiature ai limiti prescritti da legislazioni o da norme tecniche devono essere effettuate con strumenti tarati.

L'incertezza di misura degli strumenti dovrebbe essere meno del $\pm 10\%$ (fattore di copertura 2).

Le misurazioni all'aperto devono essere eseguite in assenza di precipitazioni atmosferiche e con clima asciutto. La temperatura ambientale deve essere compresa nell'intervallo di buon funzionamento dichiarato dal costruttore della strumentazione utilizzata.

Procedura di misurazione del campo elettrico

Ai fini della caratterizzazione di un dato ambiente o condizione di esposizione, dopo aver ovviamente scelto in modo adeguato e corretto la strumentazione da utilizzare, si dovrebbe eseguire un'indagine preliminare mediante misure "spot" per identificare i luoghi in cui i livelli di campo elettrico alla frequenza predominante (ad esempio quella industriale) sono più elevati.

Pertanto, le misure di campo elettrico dovrebbero essere eseguite preferibilmente in periodi in cui le principali sorgenti presenti (ad es. linee elettriche, apparecchiature industriali, ecc.) operano ai livelli più elevati delle loro correnti tipiche. Da questa indagine e/o dalla conoscenza delle posizioni delle sorgenti di campo elettrico, si possono identificare le postazioni in cui può risultare necessario eseguire misure più approfondite.

L'allestimento della catena strumentale deve essere eseguito con estrema cura per contenere gli errori di misura entro limiti accettabili.

Devono essere di conseguenza adottate le seguenti precauzioni:

- accertarsi che lo strumento di misura abbia le batterie completamente cariche;
- per alcune geometrie la vicinanza di un osservatore durante le misure di campo elettrico può essere molto significativa, pertanto, durante alcune situazioni di misura (per es. vicino a linee elettriche aeree), l'osservatore dovrebbe mantenere una distanza superiore a 2 m dalla sonda;
- tutte le componenti della catena di misura devono essere utilizzate nel corretto campo di frequenza;
- per analizzare le variazioni spaziali del campo, i punti di misura devono essere distribuiti in maniera uniforme sull'intera area da caratterizzare e devono essere in numero commisurato alla superficie in esame;
- dove si presume che il campo elettrico sia abbastanza uniforme (ad esempio sotto linee elettriche oppure all'interno di stazioni elettriche), lo strumento di misura deve essere posizionato a 1,5 m di altezza dal piano di calpestio. In tutti gli altri casi, ad esempio per campi molto disuniformi, la sonda triassiale dovrebbe essere posta approssimativamente nelle posizioni previste per il centro del torso e della testa (da 1,1 m a 1,9 m). Conviene riferirsi alla posizione corrispondente al valore più elevato del campo per determinare il punto in cui eseguire misure più approfondite;
- nel caso di misure di campo elettrico, la sonda non dovrebbe distare dalle superfici conduttrici meno del doppio del suo diametro; in caso contrario si devono prendere in considerazione le incertezze di misura dovute ai campi immagine prodotti dagli effetti di vicinanza;
- per analizzare la variazione temporale del campo, la durata di ciascuna misurazione deve essere tale da poter caratterizzare adeguatamente le variazioni del segnale in esame;
- per acquisire informazioni sufficientemente dettagliate sulle variazioni temporali, le misure dovrebbero essere registrate almeno ogni 30 s su periodi di 24 h per più giorni;
- se il campo è dovuto a una singola sorgente dominante e se le correnti di funzionamento sono conosciute in funzione del tempo, i risultati delle misure "spot" e la conoscenza della suddetta variazione temporale delle correnti possono essere usati per determinare le induzioni magnetiche in funzione del tempo.

Le misurazioni devono essere effettuate negli spazi accessibili ai soggetti potenzialmente esposti, ma in assenza degli stessi soggetti (misurazioni di campo imperturbato).

Tutte le misurazioni volte alla verifica della conformità degli impianti e delle apparecchiature ai limiti prescritti da legislazioni o da norme tecniche devono essere effettuate con strumenti tarati.

L'incertezza di misura degli strumenti dovrebbe essere meno del $\pm 10\%$ (fattore di copertura 2).

Le misurazioni all'aperto devono essere eseguite in assenza di precipitazioni atmosferiche e con clima asciutto. La temperatura ambientale deve essere compresa nell'intervallo di buon funzionamento dichiarato dal costruttore della strumentazione utilizzata.

Lettura dati

Lo strumento di misura, tramite la sonda isotropica opportunamente utilizzata, fornisce i valori efficaci di campo elettrico (E) e magnetico (B) complessivi in accordo a quanto riportato dalle norme CEI 211-4 e CEI 211-6.

15.5.6.3 Misurazioni in banda larga tramite centraline di monitoraggio

La centralina di monitoraggio rappresenta un sistema di monitoraggio remoto e continuo dei campi elettromagnetici. È stata progettata per operare e stazionare all'esterno anche nelle più gravose condizioni ambientali (sia dal punto di vista meteo-climatico che da quello dovuto ad alti livelli di inquinamento elettromagnetico). Il sistema di monitoraggio è composto da un contenitore cilindrico di protezione adatto ad alloggiare la sonda di campo, l'elettronica di misura e il dispositivo di trasferimento dei dati a distanza; è costruito in materiale trasparente ai campi elettromagnetici.

Al contenitore viene fissato il pannello solare che, al suo interno, contiene il pacco batterie ricaricabili necessario ad alimentare tutto il sistema.

La ricarica delle batterie può avvenire anche tramite carica batterie e, quindi, in collegamento con la rete elettrica. È indispensabile dotare la centralina con un sensore di campo tra quelli previsti in base alle proprie

necessità di monitoraggio e con scheda telefonica SIM abilitata alla trasmissione dati da e verso un servizio mobile e, soprattutto, funzionante nel luogo di installazione del dispositivo, altrimenti sarà impossibile dialogare con quest'ultimo. La centralina può misurare e trattenere i dati per un periodo molto lungo. La memoria interna può essere letta ad ore prefissate o su comando da remoto. Inoltre, quando la memoria è piena, i nuovi dati da memorizzare vengono sovrascritti a quelli più vecchi; è perciò necessario acquisire i dati periodicamente con una cadenza inferiore a quella massima.

Le interrogazioni e le predisposizioni delle centraline possono avvenire sia tramite telefono cellulare, sia attraverso un'unità centrale composta da PC con software specifico, collegato da rete mobile o da rete fissa.

Tale programma generalmente consente di:

- interrogare e monitorare tutte le centraline installate;
- programmare ogni singola centralina con diverse modalità di acquisizione;
- interrogare le centraline a tempi prestabiliti;
- comunicare via modem telefonico o modem cellulare;
- proteggere gli accessi con chiavi a diversi livelli di interrogazione;
- controllare e verificare l'affidabilità dei dati acquisiti;
- proteggere i dati acquisiti;
- acquisire e visualizzare i campi sui tre assi cartesiani X, Y e Z e la media trascinata ed il valore di picco;
- acquisire solo i campi misurati tra due *marker*;
- salvare e manipolare tutte le misure scaricate;
- scaricare i dati con la generazione automatica di un file di testo TXT;
- stampare i grafici e le tabelle.

Prima di installare la centralina è indispensabile verificare che la zona da monitorare sia coperta dal segnale di telefonia mobile per trasmissione dati. L'installazione deve essere eseguita in modo che le celle solari siano rivolte a sud, nel nostro emisfero, in modo particolare durante il periodo invernale. Per la correttezza dei rilevamenti, inoltre, occorre porre attenzione alla natura dei luoghi in cui la centralina viene installata, alla presenza di masse metalliche, pareti o altri oggetti che possano influenzare la misura.

È, inoltre, necessario mantenere costantemente pulite le celle solari, controllandole e ripulendole con un panno morbido periodicamente.

Nel caso in cui la centralina debba essere installata presso un sito in cui sono presenti sorgenti di campo elettromagnetico in onde medie, è necessario posizionare il dispositivo, e quindi la sonda di misura, in posizione ortogonale al campo elettrico incidente, onde evitare l'accoppiamento del gambo della sonda con lo stesso campo da misurare.

Per garantire la massima efficienza nella ricarica della batteria e quindi l'autonomia di funzionamento prevista, bisogna accertarsi che dalla posizione in cui la centralina viene installata riceva la luce del sole per tutto l'arco della giornata e non sia oscurata da edifici o altri oggetti schermanti. Quando possibile, è buona norma scegliere sempre una posizione di installazione distante da pareti, tralicci, edifici e altri ostacoli che possano influenzare il segnale che arriva al sensore.

La norma CEI 211-7/A specifica i requisiti dei sistemi strumentali di monitoraggio continuo dei campi elettromagnetici ad alta frequenza prodotti da impianti e sistemi di telecomunicazione fissi. Essa costituisce un riferimento tecnico oggettivo per tutte le attività connesse all'utilizzo dei suddetti sistemi di monitoraggio.

Per scaricare i dati rilevati durante il periodo di registrazione, l'operatore collega la centralina al PC e avvia il software specifico. Si procede al download dei dati registrati.

15.5.6.4 Misurazioni in banda stretta alle alte frequenze

In questo capitolo vengono definite le metodiche di misurazione in banda stretta (BS) utilizzate principalmente per verificare la conformità delle emissioni elettromagnetiche degli impianti rispetto ai limiti imposti dalla normativa vigente.

In generale, le misurazioni di campo devono essere effettuate in banda stretta se:

- sono presenti più sorgenti che emettono in intervalli di frequenza su cui devono essere applicati differenti valori limite e il valore misurato in banda larga è superiore al 75% del limite più basso;
- mediante la misurazione in banda larga viene evidenziato un superamento del limite per cui si rende necessaria la riduzione a conformità, procedura che richiede di valutare i diversi contributi forniti singolarmente da ogni sorgente.

Ovviamente questo equivale ad una prevalenza del dato ottenuto mediante misurazione in banda stretta sul dato ottenuto in banda larga. In altri termini, se vi è discordanza tra i dati in banda larga e in banda stretta si acquisiscono questi ultimi. Per analizzare le variazioni spaziali del campo, i punti di misura devono essere distribuiti in maniera uniforme sull'intera area da caratterizzare e devono essere in numero commisurato alla superficie in esame, in relazione anche alla lunghezza d'onda del campo e alle dimensioni della sonda di misura.

Le procedure preliminari alla misurazione vera e propria sono ben descritte nella norma CEI 211-7, 211-7/E e nelle Linee Guida SNPA 54/2025 di cui si riportano di seguito alcune informazioni principali (per maggiori dettagli si deve fare riferimento ai documenti citati).

Le linee guida SNPA 54/2025, rivolte al personale delle Agenzie che effettuano i controlli sulle emissioni elettromagnetiche degli impianti in tecnologia 5G, riportano lo stato dell'arte sulle metodologie e tecniche di misura da utilizzare per una corretta valutazione del campo elettromagnetico generato da questa tipologia di sorgenti. Le modalità di misura descritte, relative ai più recenti sistemi di telecomunicazione mobile, forniscono gli strumenti necessari per valutare l'esposizione ai campi elettromagnetici e la conformità ai limiti previsti dalla normativa italiana

La catena di misura in BS utilizzata per effettuare i rilievi è costituita da:

- sistema di ricezione del segnale costituito da un'antenna (sonda di misura);
- sistema di rivelazione delle singole componenti spettrali e delle relative ampiezze costituito da un analizzatore di spettro;
- sistema di trasmissione del segnale dal ricevitore (antenna) al sistema di misura (analizzatore di spettro o ricevitore) costituito da un cavo di collegamento che può essere un cavo coassiale o un cavo in fibra ottica (in quest'ultimo caso è necessario un convertitore ottico dal lato dell'analizzatore di spettro).

L'allestimento della catena strumentale deve essere eseguito con estrema cura per contenere gli errori di misura entro limiti accettabili.

Devono essere di conseguenza adottate le seguenti precauzioni:

- il gruppo elettrogeno che fornisce l'alimentazione elettrica, se presente, deve essere posizionato il più lontano possibile dalla catena di misura, in particolar modo dall'antenna di misura, per ridurre eventuali disturbi;
- l'analizzatore deve essere collocato possibilmente in una posizione schermata dal campo elettromagnetico (ad esempio all'interno di una struttura schermante) o comunque in una zona dove il campo non sia superiore a qualche V/m (3 V/m o secondo diverse specifiche del costruttore);
- l'analizzatore di spettro deve essere acceso qualche minuto prima di essere utilizzato e deve essere eseguita la procedura di verifica della calibrazione secondo le indicazioni fornite dal costruttore;
- l'antenna di misura dovrebbe essere posta ad una distanza pari ad almeno una λ (la più grande nel caso di più sorgenti) dall'analizzatore e da oggetti metallici (veicoli, ecc.) o nel caso di antenne corte (rispetto alla lunghezza d'onda) ad una distanza pari a 3 volte la massima dimensione lineare dell'antenna stessa;
- il cavo di collegamento tra sonda di misura e analizzatore di spettro, se non in fibra ottica, deve essere disposto nel modo più rettilineo possibile;
- l'operatore deve distare almeno 3 m dal sensore di misura;

- tutte le componenti della catena di misura devono essere utilizzate nel corretto campo di frequenza;
- l'antenna di misura deve essere montata su un cavalletto non metallico. Secondo le disposizioni normative attuali relativamente alla misurazione da effettuare per la verifica dei limiti normativi di campo elettrico e campo magnetico (art. 14 del DL 179/2012) il centro elettrico dell'antenna deve essere posizionato alla sola altezza di 1,5 m dal piano di calpestio.

L'analizzatore di spettro e la sonda di misura da utilizzare vengono scelti in base alla frequenza di emissione della sorgente in analisi (le bande di funzionamento dell'analizzatore di spettro e della sonda di misura utilizzati devono contenere al loro interno la frequenza di emissione della/e sorgente/i in indagine) e alla natura del campo che si vuole rilevare (elettrico o magnetico).

Il cavo di collegamento che deve essere usato dipende dall'antenna di misura prescelta.

La sonda di misura deve essere collocata su un treppiede in materiale dielettrico, a sua volta posizionato nel punto di misura prescelto.

In presenza di segnali di ampiezza sconosciuta, è buona norma iniziare la misurazione utilizzando in ingresso all'analizzatore un attenuatore esterno (10 o 20 dB), per evitare che il segnale in ingresso superi il valore massimo accettabile dall'analizzatore (tipicamente 20-30 dBm) danneggiandolo; successivamente, nel caso si rilevino complessivamente valori inferiori al massimo ingresso consentito, si può eventualmente scegliere di effettuare la misurazione senza attenuatori esterni.

Poiché la risposta dell'analizzatore di spettro può essere influenzata dal campo elettromagnetico ambientale (immunità elettromagnetica), questo strumento deve essere posizionato in un'area con bassi livelli di fondo elettromagnetico ambientale. Nell'effettuare rilievi in ambiente esterno è quindi consigliabile l'utilizzo di un furgone schermato.

Le misurazioni devono essere effettuate negli spazi accessibili ai soggetti potenzialmente esposti, ma in assenza degli stessi soggetti (misurazioni di campo imperturbato).

Tutte le misurazioni volte alla verifica della conformità degli impianti e delle apparecchiature ai limiti prescritti da legislazioni o da norme tecniche devono essere effettuate con strumenti tarati.

La periodicità della taratura deve essere almeno biennale per le antenne attive e per i cavi coassiali e almeno triennale per le antenne passive e per gli analizzatori di spettro o i ricevitori.

L'incertezza della catena strumentale in uso deve essere minore di 3 dB.

Le misurazioni all'aperto devono essere eseguite in assenza di precipitazioni atmosferiche e con clima asciutto. La temperatura ambientale deve essere compresa nell'intervallo di buon funzionamento dichiarato dal costruttore della strumentazione utilizzata.

La specifica di quale grandezza debba essere misurata (e cioè se solo il campo elettrico, solo il campo magnetico o entrambi) dipende dalle caratteristiche della sorgente, dalla frequenza e dalla distanza del punto di misura da essa.

La principale finalità per la quale si eseguono misure in banda stretta è costituita dalla verifica della conformità delle emissioni elettromagnetiche degli impianti rispetto ai limiti imposti dalla normativa vigente. Considerando che tali limiti possono essere espressi in termini di medie spaziali e/o temporali del campo elettromagnetico, la distribuzione delle misure deve quindi essere tale da descrivere adeguatamente il livello di campo in entrambi i domini considerati. Tali medie sono ottenute o come media aritmetica delle densità di potenza o, in modo equivalente, come media quadratica dei valori dei campi.

Con riferimento alle verifiche di conformità in ambito nazionale per l'esposizione in ambiente di vita – e dunque della popolazione – la normativa prevede di utilizzare la misura dei livelli di esposizione eseguita ad una quota pari a 1,5 m dal piano di calpestio ai fini della verifica di conformità.

Per quanto riguarda la durata della media temporale, anch'essa è opportunamente definita nelle norme applicabili. I tempi di media dei livelli efficaci di esposizione sono definiti all'interno dei provvedimenti normativi e sono pari a 6 minuti per il confronto con il limite di esposizione e a 24 ore per il confronto con il valore di attenzione e l'obiettivo di qualità (per i dettagli si veda il paragrafo 15.5.7).

Come previsto dalla Guida CEI 211-7/E, oltre alla misura per un tempo pari a quello di riferimento previsto dalla normativa è possibile utilizzare tecniche di estrapolazione che consentono di stimare valori di campo utili per accertare o escludere il superamento dei limiti attraverso misure di durata molto più contenuta.

In particolare, le tecniche di estrapolazione si fondano sull'individuazione di un segnale sempre on-air ed emesso a potenza massima e costante a partire dal quale, tramite una opportuna formula matematica, sarà possibile determinare il valore massimo e medio sulle 24 ore di campo elettrico.

Dopo aver individuato i segnali di interesse è necessario aumentare la risoluzione in frequenza centrando la visualizzazione dell'analizzatore sul segnale in esame in modo da poter impostare opportunamente i parametri di misura. È quindi necessario procedere con l'analisi qualitativa del singolo segnale per stabilire le opportune impostazioni dell'analizzatore di spettro. Tale strumento ha infatti la possibilità di essere sintonizzato su una frequenza specifica o su una porzione sufficientemente piccola della banda totale. La larghezza del filtro RBW utilizzato e la banda di frequenza devono essere idonee a consentire la misura accurata delle singole componenti spettrali alle diverse frequenze.

È possibile riferirsi fondamentalmente a cinque differenti metodologie di misura in banda stretta:

- Channel Power;
- Misura di picco;
- Zero span;
- Misura real time;
- Demodulazione.

Quando si effettua una misurazione in banda stretta, i parametri che caratterizzano l'acquisizione dello spettro (RBW, VBW, Sweep Time, SPAN, tipologia di traccia e di detector) vengono fissati, secondo le indicazioni della normativa tecnica o della letteratura scientifica disponibile, in funzione del tipo di segnale da analizzare e in modo tale da risolvere al meglio le varie sorgenti.

La scala dell'ampiezza deve consentire di visualizzare in modo ottimale i picchi di interesse (nel caso di segnali digitali deve essere visualizzato in maniera adeguata lo spettro del segnale, dalla tipica forma "a panettone").

Per i segnali analogici l'acquisizione dello spettro viene fatta memorizzando i valori massimi dei picchi di interesse per un tempo sufficiente perché i valori di picco si stabilizzino. Solitamente sono sufficienti tempi dell'ordine della decina di secondi.

Per i segnali digitali, invece, viene rilevata la potenza associata a tutta la banda di interesse mediante la funzione CHANNEL POWER presente sull'analizzatore di spettro.

Solitamente i dati vengono acquisiti (e quindi letti sul display dello strumento) come valori di potenza in ingresso all'analizzatore di spettro e sono espressi di conseguenza in dBm.

Occorre poi trasformare i valori in dBm letti sull'analizzatore di spettro nei corrispondenti valori di campo.

Nella Linea Guida SNPA 54/2025 vengono dettagliate per i segnali 4G e 5G le metodologie di misura utilizzando sia un analizzatore scalare che vettoriale che permettono rispettivamente la misura di potenza del segnale ricevuto senza demodulazione/decodifica delle informazioni trasportate e la misura che permette la decodifica dei diversi canali che compongono il segnale.

15.5.6.5 Calcoli previsionali nel processo di verifica del superamento dei limiti di legge

La caratterizzazione del campo elettrico o magnetico può avvenire attraverso misurazioni o attraverso calcoli previsionali.

Il calcolo può essere utilizzato nel caso di verifica di rispetto dei limiti di legge ma non sempre è sufficiente. Il calcolo è applicabile a configurazioni per le quali la sorgente del campo può essere ragionevolmente semplificata.

L'utilizzo dei modelli previsionali adeguati è fondamentale al fine di indicare le migliori soluzioni tecniche per verificare il rispetto delle normative e per il contenimento dei livelli di campo elettrico, magnetico ed elettromagnetico generati.

Nel caso di verifica di rispetto dei limiti per impianti già esistenti sul territorio vengono utilizzati tali software i cui risultati non possono essere in tutti i casi ritenuti sostitutivi delle misure, ma possono essere certamente significativi per inquadrare l'ordine di grandezza dei campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici in molte condizioni di esposizione.

Gli elementi fondamentali dei programmi di calcolo del campo elettrico, magnetico ed elettromagnetico sono:

- algoritmo di calcolo;
- dati di ingresso;
- dati di uscita.

L'appendice G della norma CEI 211-10 ha lo scopo di indicare le metodologie previsionali per verificare che una Stazione Radio Base (SRB) rispetti i limiti normativi definiti dalla legislazione italiana per l'esposizione della popolazione ai campi elettromagnetici ad alta frequenza generati intenzionalmente da apparati di telecomunicazione. La Guida intende essere d'aiuto a tutti coloro – gestori, costruttori, installatori, ispettori, enti pubblici – che sono, a vario titolo, interessati sia all'installazione e gestione dei sistemi di telecomunicazioni in oggetto, sia al controllo del rispetto dei limiti normativi vigenti per l'esposizione ai campi elettromagnetici irradiati nell'ambiente da tali sistemi, anche in presenza di altre possibili sorgenti di campo elettromagnetico. Laddove non esplicitamente specificato la Guida si applica nell'intervallo di frequenza compreso tra 100 kHz – 300 GHz fornisce una descrizione accurata definendo in modo dettagliato le funzionalità minime che un programma di calcolo deve implementare per poterne stabilire, con dovuta accuratezza, le qualità minime. La norma CEI 211-10 si rivolge alle Stazioni Radio Base, ma in linea generale ciò che in essa viene stabilito vale per gli impianti operanti a radiofrequenza.

Gli algoritmi di calcolo sono il cuore del programma: sulla base delle relazioni matematiche che esso implementa è possibile definire una serie di prescrizioni. Tali relazioni hanno carattere scientifico e derivano dall'analisi della propagazione dei campi elettromagnetici nell'ambiente. Nel caso, ad esempio, delle Stazioni Radio Base, la relativa norma CEI 211-10 individua svariati algoritmi di calcolo caratterizzati da differenti livelli di complessità e precisione: generalmente gli algoritmi più semplici tendono a sovrastimare maggiormente il valore del campo elettromagnetico, quelli più complessi forniscono risultati più accurati e possono essere utilizzati in alcune situazioni particolari (spazio libero, presenza di ostacoli). Nelle stime previsionali occorre applicare le disposizioni normative del DM 02.12.2014 relativo alle modalità con cui gestori devono fornire i dati di potenza degli impianti ed ai fattori di riduzione della potenza da applicare per tener conto della variabilità temporale della stessa sulle 24 ore e del DM 05.10.2016 relativo ai valori di assorbimento del campo elettromagnetico da parte delle strutture degli edifici.

Più precisamente, nelle stime previsionali, si valuta il rispetto di tutti i limiti (limite di esposizione, valore di attenzione/obiettivo di qualità).

Quindi:

- per il limite di esposizione si fa una stima a massima potenza ($\alpha_{24} = 1$);
- per valore di attenzione/obiettivo di qualità si fa una stima con α_{24} massimo nell'arco di un anno.

Nel caso delle linee elettriche i modelli di calcolo utilizzati seguono quanto contenuto nella norma CEI 211-4.

La gestione e il controllo dell'accuratezza dei dati di input è un processo essenziale per la determinazione corretta dei livelli di campo elettrico, magnetico ed elettromagnetico. La precisione e la risoluzione attraverso la quale vengono inseriti alcuni dati deve essere compatibile con la precisione e la risoluzione che si intendono prescrivere per l'algoritmo di calcolo (e quindi per i risultati di calcolo) e per la rappresentazione grafica.

La presentazione grafica dei risultati di calcolo è un punto fondamentale per la valutazione della conformità di un tool di simulazione: deve permettere all'utilizzatore finale di interpretare in modo immediato e senza ambiguità ciò che i risultati rappresentano. In particolare, per la simulazione dei livelli di campo elettrico, magnetico ed elettromagnetico, la rappresentazione grafica deve consentire la verifica della conformità alla normativa in materia di esposizione umana ai campi elettromagnetici. Generalmente la modalità più immediata per la verifica della conformità è basata su valutazioni che hanno come soggetto il volume di rispetto, ovvero la regione dello spazio all'esterno della quale i limiti di legge sono sicuramente rispettati.

Per le sorgenti operanti alle radiofrequenze, secondo quanto stabilito dalla normativa vigente in materia (allegato B del DM 381/1998), la verifica del rispetto dei limiti e del valore di cautela può essere effettuata sia attraverso misure che tramite calcoli previsionali. Tuttavia, nel caso in cui questi ultimi facciano prevedere livelli superiori al 50% dei valori massimi previsti dal decreto, è necessario prevedere misure dirette del campo elettrico e magnetico o della densità di potenza nella regione di campo lontano. L'obbligatorietà delle misure è stata inserita non a causa della scarsa affidabilità dei programmi di calcolo previsionale, ma piuttosto in considerazione della difficoltà di conoscere in maniera sufficientemente precisa tutti i parametri di ingresso quali, ad esempio, le varie caratteristiche tecniche degli impianti. Poiché può succedere che i siti siano oltremodo complessi, con un elevato numero di impianti, e che i parametri di progetto, o quelli dichiarati dai produttori degli impianti o dai loro gestori, possano differire da quanto riscontrabile nella realtà, nell'ottica della massima cautela possibile, si è privilegiato il momento della misura, almeno nel caso in cui gli errori nei parametri di ingresso possono essere significativi.

Per le sorgenti operanti alle basse frequenze (elettrodotti), le normative vigenti in materia e, in particolar modo, le attuali procedure di misura e di valutazione del valore dell'induzione magnetica utili ai fini del non superamento del valore di attenzione e dell'obiettivo di qualità fissati dal DPCM 8/07/2003 sugli elettrodotti, si riferiscono a valutazioni basate su misure e non su simulazioni modellistiche.

15.5.7 Valori di riferimento

In relazione agli impianti fissi sorgenti di emissioni elettromagnetiche nell'ambiente, la tutela della salute, in particolare, viene conseguita attraverso la definizione dei tre differenti limiti, limiti di esposizione, valori di attenzione, obiettivi di qualità.

Per quanto concerne la definizione di valori limite, essa si basa su una protezione a più livelli.

- la protezione rispetto agli effetti sanitari accertati (effetti acuti) si realizza con la definizione dei limiti di esposizione, ossia di quei "valori di campo elettrico, magnetico ed elettromagnetico, considerati come valori di immissione che non devono essere superati in alcuna condizione di esposizione" (Legge Quadro n. 36/2001 art.3, comma 1, lettera b);
- la protezione rispetto agli effetti a lungo termine si realizza con la definizione di valori di attenzione, ossia di quel "valore di campo elettrico, magnetico ed elettromagnetico considerato come valore di immissione che non deve essere superato negli ambienti abitativi, scolastici e nei luoghi adibiti a permanenze prolungate" (Legge Quadro n. 36 / 2001 art.3, comma 1, lettera c);
- ai fini di una progressiva minimizzazione dell'esposizione ai campi elettromagnetici, sempre nell'ottica di una protezione da effetti a lungo termine e nella logica della "*prudent avoidance*", sono stati introdotti gli obiettivi di qualità, ossia valori di campo elettrico, magnetico ed elettromagnetico, considerati come valori di emissione degli impianti e delle apparecchiature, da conseguire nel breve, medio e lungo periodo (legge quadro n. 36/2001 art.3, comma 1, lettera d). Tali obiettivi di qualità sono rappresentati dai criteri localizzativi, gli standard urbanistici, le prescrizioni e le incentivazioni per l'utilizzo delle migliori tecnologie disponibili per ottenere nel tempo una riduzione delle esposizioni.

Valori limite in bassa frequenza

Il D.P.C.M. 08/07/2003 fissa i limiti di esposizione, i valori di attenzione e gli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni ai campi elettrici e magnetici alla frequenza di rete (50 Hz) generati dagli elettrodotti.

Le tecniche di misurazione da adottare sono quelle indicate dalla norma CEI 211-6.

Valori limite in alta frequenza

Per quanto riguarda i campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici generati a frequenze comprese tra 100 kHz e 300 GHz, il valore di attenzione e l'obiettivo di qualità da rispettare per la protezione della popolazione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici sono fissati a 15 V/m da applicare all'interno di edifici utilizzati come ambienti abitativi e nelle loro pertinenze esterne, devono essere rilevati ad un'altezza di m. 1,50 sul piano di calpestio e sono da intendersi come media dei valori nell'arco delle 24 ore. I valori limite di esposizione sono quelli di cui alla tabella 1 dell'allegato B al D.P.C.M. 8 luglio 2003 intesi come valori efficaci. Tali

valori devono essere rilevati ad un'altezza di m. 1,50 sul piano di calpestio e mediati su qualsiasi intervallo di 6 minuti.

Le misure a banda larga possono essere ritenute valide per verificare il rispetto dei limiti stabiliti (Norma tecnica CEI 211 7 e sue appendici), a condizione che:

- il valore misurato sia entro il limite stabilito;
- l'incertezza complessiva è inferiore a quanto fissato dalla Guida CEI 211-7.

Nel caso dei segnali 4G e 5G, si segnala che, in assenza di una valutazione adeguata della risposta dello strumento e di una conseguente corretta stima dell'incertezza, il valore misurato, pur garantendo il rispetto del limite, può non essere indicativo dell'effettivo livello di esposizione.

Le misure devono essere effettuate alla quota di 1,5 m dal piano di calpestio considerando le tecniche di misurazione indicate nella norma CEI 211-7 e relative appendici.

Ai fini della verifica mediante determinazione del mancato superamento del valore di attenzione e dell'obiettivo di qualità si potrà anche fare riferimento, per l'identificazione dei valori mediati nell'arco delle 24 ore, a metodologie di estrapolazione basate sui dati tecnici e storici dell'impianto.

15.5.8 Caratteristiche del monitoraggio in funzione della tipologia di opera

Relativamente alle caratteristiche del monitoraggio della componente in esame si effettua la seguente distinzione fra tipologie di opere:

- nuovi elettrodotti;
- opere connesse.

Nell'allegato II del D.Lgs. 3 aprile 2006 n.152 e s.m.i., punto 4-bis), fra le opere soggette a VIA nazionale, vengono inclusi gli "Elettrodotti aerei per il trasporto di energia elettrica, con tensione nominale superiore a 100 kV e con tracciato di lunghezza superiore a 10 Km".

Per altre tipologie di opere, quali ad esempio strade e ferrovie, possono essere considerate "Opere connesse", intese come sistemi connessi alla realizzazione e/o funzionamento dell'infrastruttura in progetto, i seguenti interventi previsti dal progetto:

- l'eventuale realizzazione di nuovi elettrodotti non ricadenti nella tipologia di cui al succitato Allegato II del D.Lgs. 152/2006 e s.m.i., incluse le nuove cabine elettriche e le centrali di trasformazione;
- lo spostamento/modifica di elettrodotti esistenti, incluse le cabine elettriche e le centrali di trasformazione esistenti;
- gli impianti di radio-telecomunicazione (nuovi e/o esistenti) connessi all'opera in progetto.

Anche tali "Opere connesse" rientrano nell'ambito del progetto di monitoraggio dei campi elettromagnetici.

Di seguito, si riportano informazioni specifiche relativamente alle due tipologie di opere sopra citate in relazione alle varie fasi del monitoraggio (*ante operam*, *corso d'opera*, *post operam*).

15.5.8.1 Nuovi elettrodotti

Nella fase *ante operam* l'obiettivo è quello di monitorare il livello di fondo elettromagnetico considerando le sorgenti elettromagnetiche e i ricettori sensibili presenti nel contesto territoriale in esame. In questa fase occorre quindi censire con precisione tutte le sorgenti elettromagnetiche presenti (elettrodotti, stazioni radio base ecc.) e i ricettori sensibili ritenuti critici finalizzando tale indagine all'ubicazione dei punti di monitoraggio in corso d'opera e *post operam*.

Nello specifico della tipologia di opera in esame, la fase corso d'opera generalmente non comporta problematiche di emissione di onde elettromagnetiche, tuttavia potrebbero presentarsi situazioni, da valutare caso per caso, in cui potrebbe rendersi necessaria una verifica strumentale (ad es. nel caso di spostamenti temporanei di elettrodotti esistenti interferenti con le aree di cantiere).

Particolare attenzione va riposta nella presenza di elettrodotti che possano interferire con il tracciato dell'opera creando nella fase *post operam* situazioni complesse quali parallelismi e incroci di linee elettriche. Infatti, in quest'ultima fase è necessario: valutare le variazioni rispetto al clima elettromagnetico monitorato nella fase *ante operam* tenendo presenti anche eventuali nuovi impianti elettromagnetici e/o ricettori sensibili non presenti in fase di *ante operam* (es. nuovi edificati); verificare il rispetto delle previsioni modellistiche realizzate in fase di progettazione (SIA); verificare l'efficacia elettromagnetica degli interventi di mitigazione.

Relativamente agli elettrodotti, i limiti imposti dalla normativa vigente si relazionano con i valori efficaci di campo elettrico e campo magnetico (limiti di esposizione) e con il valore di campo di induzione magnetica inteso come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio (valore di attenzione e obiettivo di qualità).

Le modalità di scelta dei punti di monitoraggio devono seguire quanto riportato nei paragrafi precedenti. Le metodiche di misura e la strumentazione da utilizzare vengono scelte sulla base di quanto riportato nel relativo paragrafo.

Ai fini della verifica del non superamento del valore di attenzione e dell'obiettivo di qualità, la procedura di misura da adottare è quella riportata nel Decreto 29 maggio 2008 "Approvazione delle procedure di misura e valutazione dell'induzione magnetica".

Nel caso di campo magnetico uniforme nello spazio, tipicamente quello generato dalle linee elettriche aeree, per un'accurata caratterizzazione, possono essere sufficienti rilievi compresi tra 100 e 150 cm dal piano di calpestio; nel caso di campo magnetico fortemente non omogeneo, come nel caso di quello generato dalle cabine elettriche, dovrà essere eseguita una serie di rilievi anche a quote differenti.

Il valore di induzione magnetica utile per la valutazione del non superamento del valore di attenzione e dell'obiettivo di qualità si ottiene come mediana dei valori registrati durante misure dirette prolungate per almeno 24 ore nelle normali condizioni di esercizio.

La frequenza di campionamento deve essere rappresentativa dell'andamento dell'induzione nell'arco delle 24 ore. La strumentazione attualmente disponibile permette campionamenti dell'ordine dei secondi. Per la finalità della misura in questione, si richiede l'acquisizione di almeno un campione al minuto.

Per stimare il livello di esposizione in qualunque giorno dell'anno, anche diverso da quello di misura, è possibile, in determinate condizioni, ricorrere alla valutazione indiretta dell'induzione magnetica descritta nel decreto sopracitato.

I livelli di induzione magnetica così ottenuti devono essere confrontati direttamente con i valori di riferimento prescritti dalla normativa vigente.

15.5.8.2 Opere connesse

Come già detto in precedenza, le opere connesse sono costituite da tutti gli interventi funzionali alla realizzazione e/o funzionamento dell'infrastruttura in progetto, possono comprendere ad esempio altri elettrodotti esistenti e anche impianti a radiofrequenza (stazioni radio base, impianti radar ecc.)

Nella fase *ante operam*, occorre monitorare il livello di fondo elettromagnetico considerando le sorgenti elettromagnetiche e i ricettori sensibili presenti nel contesto territoriale in esame (bassa e alta frequenza). In questa fase occorre quindi censire con precisione tutte le sorgenti elettromagnetiche presenti (elettrodotti, stazioni radio base ecc.) e i ricettori sensibili, finalizzando tale indagine all'ubicazione dei punti di monitoraggio in corso d'opera e *post operam*.

Nello specifico della tipologia di opera in esame, la fase corso d'opera comporta dei controlli su impianti elettromagnetici di supporto utilizzati in fase di cantiere come antenne a supporto di comunicazioni di soccorso, centraline elettriche di supporto ai servizi autostradali. È anche necessario monitorare eventuali spostamenti "temporanei" di elettrodotti esistenti per un cambio di tracciato o di altezze dei conduttori.

Nella fase *post operam* è necessario: valutare le variazioni rispetto al clima elettromagnetico monitorato nella fase *ante operam*, tenendo presenti anche eventuali nuovi impianti elettromagnetici e/o ricettori sensibili non presenti in fase di *ante operam* (es. nuovi edificati); verificare il rispetto delle previsioni modellistiche realizzate in fase di progettazione (SIA); verificare l'efficacia elettromagnetica degli interventi di mitigazione.

Relativamente agli elettrodotti coinvolti, occorre applicare quanto riportato nel paragrafo precedente.

Secondo i recenti sviluppi normativi (art. 14 del D.L. 179/2012), il limite di esposizione per l'alta frequenza è un valore efficace da rilevare ad un'altezza di 1,50 m sul piano di calpestio e mediato su qualsiasi intervallo di 6 minuti. Il valore di attenzione e l'obiettivo di qualità per l'alta frequenza devono invece essere rilevati ad un'altezza di 1,50 m sul piano di calpestio e sono da intendersi come media dei valori nell'arco delle 24 ore.

Le modalità di scelta dei punti di monitoraggio devono seguire quanto riportato nei paragrafi precedenti. Le misurazioni e la strumentazione da utilizzare vengono scelte sulla base di quanto riportato nel relativo paragrafo.

I risultati dell'attività di monitoraggio devono essere riportati in: schede di misura, relative a ciascuna misura effettuata (misura in continuo e misura spot); relazioni delle fasi di monitoraggio (*ante operam*; corso d'opera e *post operam*); report delle segnalazioni di anomalia.

La scheda di misura deve contenere tutte le informazioni relative alla postazione di monitoraggio, ai parametri di inquadramento territoriale individuati e agli esiti del monitoraggio effettuato.

La relazione di *ante operam* fornisce una sintesi dei risultati delle attività preliminari di acquisizione dati, dei sopralluoghi effettuati, delle campagne di misura realizzate e delle elaborazioni dei dati; tale relazione costituisce il parametro di confronto per la relazione di *post operam*, che riporta una sintesi dei risultati delle elaborazioni delle misurazioni effettuate durante la specifica fase di monitoraggio in tutte le postazioni di misura e delle verifiche di efficacia delle mitigazioni previste in fase di progettazione. La relazione di corso d'opera fornisce una sintesi dei dati acquisiti durante la specifica fase di monitoraggio e delle valutazioni delle verifiche di efficacia delle mitigazioni temporanee previste in fase di studio previsionale e/o di quelle eventualmente introdotte a seguito del riscontro di anomalie.

15.5.9 Scheda tecnica

In merito alle radiazioni non ionizzanti si riportano le seguenti schede tecniche:

- Scheda tecnica 1 - Radiazioni non ionizzanti – Fase *ante operam*
- Scheda tecnica 2 - Radiazioni non ionizzanti – Fase corso d'opera
- Scheda tecnica 3 - Radiazioni non ionizzanti – Fase *post operam*

Scheda tecnica 1 – Radiazioni non ionizzanti – Fase *ante operam*

RADIAZIONI NON IONIZZANTI (<i>ante operam</i>)						
Obiettivi specifici del MA	Ambito oggetto del PMA	Localizzazione dei monitoraggi	Parametro descrittore	Frequenza/durata dei monitoraggi	Metodologia di riferimento	Valore di riferimento
Caratterizzare il fondo elettromagnetico dell'area di indagine nello scenario di base Verificare il rispetto dei valori limite individuati dalla normativa per la tutela della popolazione Evidenziare situazioni di criticità preesistenti alla realizzazione dell'opera in progetto.	Valutazione dell'impatto/esposizione dei campi elettromagnetici sulla/della popolazione	Presso i ricettori sensibili situati: • all'interno della fascia/area di rispetto dell'Opera in progetto e/o delle sorgenti elettromagnetiche connesse ad essa • presso altre sorgenti lineari e puntuali elettromagnetiche presenti o anche solo autorizzate che creano situazioni complesse con l'opera in progetto (quali parallelismi, incroci e deviazioni di linee elettriche esistenti)	Parametri elettromagnetici individuati dalla normativa (LQ 36/2001 e decreti attuativi con s.m.i., Norme CEI) in funzione della tipologia di sorgente/i presente/i nell'area di indagine; Parametri di inquadramento territoriale, in particolare con riferimento ai ricettori sensibili. (vedi paragrafo 15.5.4 "Parametri descrittori (indicatori)").	Almeno una misurazione/calcolo previsionale prima della realizzazione dell'infrastruttura. I periodi di effettuazione delle misurazioni devono tenere conto della variabilità delle sorgenti presenti e dei fattori che influenzano il fondo elettromagnetico. La durata delle misurazioni dipende dal tipo di sorgente elettromagnetica e dal tipo di strumentazione utilizzata.	Le metodologie di riferimento per le misurazioni/calcoli previsionali sono differenziate per tipologia di sorgente elettromagnetica e vengono descritte dettagliatamente nelle norme tecniche di riferimento CEI, DM 29/05/2008 e nelle Linee guida SNPA 54/2025 (vedi paragrafo 15.5.6 "Metodologie di riferimento/tecniche di misura").	Valori limite individuati dalla normativa (LQ 36/2001 e decreti attuativi e s.m.i), funzione della destinazione d'uso del ricettore sensibile e/o della tipologia di sorgente/i presente/i nell'area di indagine

BONZA

Scheda tecnica 2 – Radiazioni non ionizzanti – Fase Corso d’opera

RADIAZIONI NON IONIZZANTI (Corso d’Opera)						
Obiettivi specifici del MA	Ambito oggetto del PMA	Localizzazione dei monitoraggi	Parametro descrittore	Frequenza/durata dei monitoraggi	Metodologia di riferimento	Valore di riferimento
Valutare l’alterazione del fondo elettromagnetico rispetto allo scenario di base nel caso di: spostamenti, anche solo temporanei per la risoluzione delle interferenze, di elettrodotti esistenti per un cambio di tracciato o di altezze dei conduttori, previsti in fase di cantiere; impianti elettromagnetici di supporto utilizzati in fase di cantiere come antenne a supporto di comunicazioni di soccorso, centraline elettriche di supporto ai servizi autostradali.	Valutazione dell’impatto/esposizione dei/ai campi elettromagnetici sulla/della popolazione	Presso i ricettori sensibili situati all’interno della fascia/area di rispetto delle sorgenti lineari e puntuali di campi elettromagnetici esistenti e modificate, anche solo temporaneamente per la risoluzione delle interferenze, durante la fase di cantiere per la realizzazione dell’Opera.	Parametri elettromagnetici individuati dalla normativa (LQ 36/2001 e decreti attuativi con s.m.i., norme tecniche CEI) in funzione della tipologia di sorgente/i presente/i nell’area di indagine; Parametri di inquadramento territoriale, in particolare con riferimento ai ricettori sensibili. (vedi paragrafo 15.5.4 “Parametri descrittori (indicatori)”).	Almeno una misurazione/calcolo previsionale durante la realizzazione dell’infrastruttura I periodi di effettuazione della misurazione devono tenere conto della variabilità delle sorgenti presenti e dei fattori che influenzano il fondo elettromagnetico. La durata delle misurazioni dipende dal tipo di sorgente elettromagnetica e dal tipo di strumentazione utilizzata.	Le metodologie di riferimento della misurazione/calcolo previsionale sono differenziate per tipologia di sorgente elettromagnetica e vengono descritte dettagliatamente nelle norme tecniche di riferimento CEI, nel DM 29/05/2008 e nelle Linee guida 54/2024 (vedi paragrafo 15.5.6 “Metodologie di riferimento/tecniche di misura”)	Valori limite individuati dalla normativa (LQ 36/2001 e decreti attuativi e s.m.i), funzione della destinazione d’uso del ricettore sensibile e/o della tipologia di sorgente/i presente/i nell’area di indagine.

Scheda tecnica 3 – Radiazioni non ionizzanti – Fase *Post operam*

RADIAZIONI NON IONIZZANTI (<i>Post operam</i>)						
Obiettivi specifici del MA	Ambito oggetto del PMA	Localizzazione dei monitoraggi	Parametro descrittore	Frequenza/durata dei monitoraggi	Metodologia di riferimento	Valore limite o valore standard di riferimento
Valutare l'alterazione del fondo elettromagnetico rispetto allo scenario di base. Verificare il rispetto dei valori limite individuati dalla normativa per la tutela della popolazione	Valutazione dell'impatto/esposizione dei/ai campi elettromagnetici sulla/della popolazione	Presso i ricettori sensibili situati: • all'interno della fascia/area di rispetto dell'Opera in progetto e/o delle sorgenti elettromagnetiche connesse ad essa • presso altre sorgenti lineari e puntuali elettromagnetiche presenti o anche solo autorizzate che creano situazioni complesse con l'opera in progetto (quali parallelismi, incroci e deviazioni di linee elettriche esistenti). Considerare eventuali nuovi ricettori sensibili non presenti nella fase AO e influenzati dall'Opera in progetto	Parametri elettromagnetici individuati dalla normativa (LQ 36/2001 e decreti attuativi con s.m.i., norme tecniche CEI) in funzione della tipologia di sorgente/i presente/i nell'area di indagine; Parametri di inquadramento territoriale, in particolare con riferimento ai ricettori sensibili. (vedi paragrafo 15.5.4 "Parametri descrittivi (indicatori)").	Almeno una misurazione/calcolo previsionale dopo la realizzazione dell'infrastruttura I periodi di effettuazione della misurazione devono tenere conto della variabilità delle sorgenti presenti e dei fattori che influenzano il fondo elettromagnetico. La durata delle misurazioni dipende dal tipo di sorgente elettromagnetica e dal tipo di strumentazione utilizzata.	Le metodologie di riferimento della misurazione/calcolo previsionale sono differenziate per tipologia di sorgente elettromagnetica e vengono descritte dettagliatamente nelle norme tecniche di riferimento CEI, nel DM 29/05/2008 e nelle Linee guida 54/2024 (vedi paragrafo 15.5.6 "Metodologie di riferimento/tecniche di misura")	Valori limite individuati dalla normativa (LQ 36/2001 e decreti attuativi e s.m.i.), funzione della destinazione d'uso del ricettore sensibile e/o della tipologia di sorgente/i presente/i nell'area di indagine.