

Ufficio Tecnico

Autorità di Sistema Portuale del Mar Tirreno Settentrionale
Scali Rosciano, 6 - 57123 Livorno, Italia

PROGETTAZIONE ESECUTIVA E REALIZZAZIONE DELLE OPERE
MARITTIME DI DIFESA E DEI DRAGAGGI PREVISTI NELLA NUOVA
PRIMA FASE DI ATTUAZIONE DELLA PIATTAFORMA EUROPA

R.U.P.:	Ing. Enrico Pribaz	Responsabile dell'integrazione delle prestazioni specialistiche: Dott. Ing. Filippo Busola
D.L.:	Ing. Matteo Baroni	
Supporto al R.U.P.:	Ing. Ilaria Lotti / Ing. Pietro Chiavaccini / Ing. Andrea Carli	
Direttore operativo:	Arch. Raul Raffalli	
C.S.E.:	Geom. Fabio Verzoni	

CONTRAENTE GENERALE: R.T.I.

Mandataria:



PROGETTISTI: R.T.P.

Mandataria:



PROTOCOLLO: DATA: Aprile 2024

TITOLO ELABORATO:

Allegato 4 - Valutazione previsionale di impatto vibrazionale

NOME FILE: 1233-PE-0-0-AMB-R-020(4)-0.docx

SCALA: /

CODICE ELABORATO: 1233-PE-0-0-AMB-R-020(4)-0

FORMATO: A4

REV.	DESCRIZIONE	DATA	SOCIETA'	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
0	Prima emissione	Aprile 2024		CATRICALA'	NENCINI	BUSOLA



Via del Fonditore, 344 - 58022 Follonica (GR)

C.F. e P. IVA: 01583430531
e-mail: info@blue-wave.com
sito web: www.blue-wave.com

TITOLO: **VALUTAZIONE PREVISIONALE DI IMPATTO VIBRAZIONALE**

OPERA: Cantiere per la realizzazione delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa

COMMITTENTE: RTI SIDRA S.p.A., FINCANTIERI INFRASTRUCTURE OPERE MARITTIME S.p.A., SALES S.p.A. e FINCOSIT S.r.l.

UBICAZIONE: Comune di Livorno e Comune di Collesalveti (LI)

TIPO DOCUMENTO: Valutazione Previsionale Vibrazioni conforme alla UNI 9614

DATA EMISSIONE: **15 Aprile 2024**

CODICE COMMESSA:	BW588	
NOME FILE:	BW588-VIB-IMP_240411.docx	
REDAZIONE:	13/04/2024	Lorenza Catricalà
REVISIONE	15/04/2024	Luca Nencini
APPROVAZIONE	15/04/2024	Luca Nencini

SOMMARIO

1. INTRODUZIONE	3
2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO	5
2.1. Norma UNI ISO 2631-2:2018	7
2.2. Norma UNI 9614:2017	8
2.2.1. Limiti di accelerazione ponderata	8
2.3. Norma UNI 9916:2014	9
2.3.1. Limiti velocità di vibrazione	10
3. INQUADRAMENTO GENERALE	11
3.1. Area di cantiere Piattaforma Europa	11
3.1.1. Traffico indotto in ingresso/uscita	14
3.2. Area di cantiere Biscottino	15
3.2.1. Cicli lavorativi	17
3.2.2. Traffico indotto in ingresso/uscita	19
4. INDIVIDUAZIONE DEI RICETTORI.....	21
5. VALUTAZIONE DELL'ENTITÀ DELLE VIBRAZIONI AI RICETTORI.....	23
6. CONCLUSIONI	26

1. INTRODUZIONE

Il presente elaborato costituisce la valutazione previsionale di impatto vibrazionale relativa alle attività di cantiere del progetto esecutivo delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa.

La realizzazione delle suddette opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti comporta attività lavorative nell'area a mare oggetto di intervento e in alcune adiacenti aree di cantiere a terra, oltre che alle attività lavorative necessarie alla produzione di accropodi presso un'area industriale sita in località Biscottino, nel Comune di Collesalveti (LI). La realizzazione delle opere marittime di difesa prevede l'apporto di ingenti quantità di materiale lapideo, oltre che dei sopraccitati accropodi e di quanto necessario per la realizzazione dei muri di coronamento (calcestruzzo, ferro e casseri). Al fine di ridurre il trasporto terrestre, ed il conseguente traffico di mezzi pesanti lungo la viabilità di accesso, è previsto che il 79% della fornitura sia provvista via mare, mediante mezzi marittimi che andranno a caricare il materiale presso i porti di Piombino (LI), Carrara (MS) e Olbia (SS). Il restante 21% del materiale lapideo sarà trasportato via terra, in arrivo dalle cave di Campiglia Marittima (LI), San Vincenzo (LI), Venturina Terme (LI) e Carrara (MS). Pertanto, il presente studio valuterà gli effetti delle vibrazioni indotte anche del traffico indotto dalle attività di cantiere e circolante su tratti di viabilità esistente.

Il presente elaborato costituisce documentazione integrativa al Decreto di Valutazione Impatto Ambientale n. DM_2024-0000081 del 11/03/2024, avente esito positivo subordinato all'ottemperanza di alcune condizioni ambientali, tra cui figura la Condizione Ambientale n.5 relativa al Clima acustico e vibrazioni. Relativamente alle vibrazioni la Condizione Ambientale n.5 specifica la necessità di:

- predisporre documenti in merito all'approfondimento del lo studio della tematica vibrazioni effettuando un censimento dei potenziali ricettori esposti agli impatti dovuti alle vibrazioni nell'area portuale, se presenti, ed esteso ai percorsi seguiti dai mezzi afferenti al porto;
- produrre uno studio dell'impatto da vibrazioni sui percorsi di ingresso e uscita dal porto nella fase per analizzare i disagi per i ricettori individuati nel censimento del punto precedente corredato da una valutazione dell'impatto vibrazionale sui ricettori in fase di cantiere;

A fronte di tali richieste e alla luce della decisione della RTI di non attivare il cantiere di Pian di Rota per la fabbricazione degli accropodi, il presente elaborato costituisce la valutazione dell'impatto vibrazionale derivante dalle attività di cantiere che saranno svolte nell'area di progetto e nell'area Biscottino e derivante dal traffico indotto circolante su tratti di viabilità esistente.

Il presente Studio, oltre all'Introduzione, contiene:

- una sintesi della normativa di riferimento (Capitolo 2);
- la caratterizzazione generale dell'area di studio, con individuazione dei ricettori (Capitolo 3);
- la descrizione del modello analitico utilizzato per il calcolo dei livelli di vibrazione indotti ai ricettori individuati (Capitolo 4)
- la valutazione del rispetto dei limiti presso i ricettori individuati (Capitolo 0);

rimandando al Capitolo 6 le conclusioni del lavoro.

2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

In assenza di normativa nazionale che definisca metodi, indici e limiti al fenomeno vibratorio, la normativa di riferimento in materia di vibrazioni indotte sugli edifici e dei potenziali effetti sugli stessi e sulle persone all'interno è costituita rispettivamente dalla norma tecnica UNI 9916:2014 "Criteri di misura e valutazione degli effetti delle vibrazioni degli edifici", dalla norma tecnica UNI 9614:2017 "Misura delle vibrazioni negli edifici e criteri di valutazione del disturbo" e dalla norma tecnica UNI ISO 2631-2:2018 "Vibrazioni meccaniche e urti - Valutazione dell'esposizione dell'uomo alle vibrazioni trasmesse al corpo intero - Parte 2: Vibrazioni negli edifici (da 1 Hz a 80 Hz)".

Intendendo con il termine vibrazione il fenomeno ondulatorio, costituito da una fluttuazione rapida intorno ad una posizione di equilibrio di un elemento solido, il cui movimento netto è nullo, le vibrazioni possono essere valutate utilizzando tre diverse modalità:

- in termini di spostamento, ovvero della variazione della posizione dell'elemento indagato rispetto alla posizione di quiete;
- in termini di velocità, ovvero della variazione dello spostamento rispetto al punto di riferimento, in un determinato intervallo di tempo;
- in termini di accelerazione, ovvero dalla derivata prima della velocità, che risulta anche la grandezza fisica più facilmente misurabile grazie alla disponibilità di strumenti inerziali efficienti che possiedono sensibilità, risposta in frequenza adeguate, robustezza e facilità d'impegno elevata.

In linea di principio il moto può essere misurato attraverso una qualunque delle grandezze cinematiche sopra elencate (accelerazione, velocità, spostamento), ma tra queste l'accelerazione è la grandezza più facilmente misurabile, mentre la velocità è la grandezza generalmente utilizzata per definire parametri e valori di riferimento nella valutazione del danno agli edifici. Dal punto di vista dei potenziali disturbi indotti dalle vibrazioni, i problemi si riscontrano quasi esclusivamente all'interno degli edifici, in quanto le vibrazioni percepite da persone che si trovano in ambiente esterno raramente provocano lamentele. Per questi motivi, è prassi comune misurare direttamente l'accelerazione ed ottenere la velocità per integrazione del segnale.

Gli edifici subiscono effetti che si possono classificare in una scala da non percepibili (livelli di vibrazione bassi), a suoni a bassa frequenza e vibrazioni percepibili (livelli di vibrazione medi) fino a livelli tali da provocare danni alle strutture.

In generale, danni strutturali all'edificio attribuibili a fenomeni vibratorii sono estremamente rari e quasi sempre derivano dal concorso di altre cause. Affinché le vibrazioni possano arrecare danni strutturali è necessario che esse raggiungano livelli tali da causare prima

fastidio e disturbo agli occupanti. Sono invece frequenti altre forme di danno, di entità definita “di soglia”, che senza compromettere la sicurezza strutturale dell’edificio si presentano sotto forma di fessure negli intonaci o danneggiamenti di elementi architettonici, a cui segue una riduzione del valore economico dell’edificio stesso. A tal proposito, la norma tecnica UNI 9916:2014 definisce **danno di tipo architettonico** ogni effetto residuo delle vibrazioni in grado di determinare alterazione estetica o funzionale dell’edificio senza comprometterne la stabilità strutturale o la sicurezza degli occupanti. La formazione di fessure più marcate, il distacco e la caduta di gesso o pezzi di intonaco, fino al danneggiamento di elementi strutturali, sono effetti che rientrano invece nella definizione di **danno maggiore**.

I parametri fisici che influenzano le vibrazioni indotte da una sorgente esterna e che via terra raggiungono un edificio si possono dividere in tre categorie:

- **fattori legati alle sorgenti e alla modalità di operare** - questa categoria include tutti i parametri collegati ai macchinari il cui funzionamento costituisce sorgente di vibrazione. Per esempio, nelle attività connesse alla fase di escavazione e sbancamento si generano tipicamente livelli vibratorii di vari gradi in relazione ai macchinari e ai mezzi impiegati. Le attività che tipicamente generano livelli di vibrazioni significative sono associate all’uso di esplosivi e attrezzature d’impatto, quali per esempio la macchina battipalo o il perforatore;
- **geologia** - le condizioni del terreno hanno una forte influenza sui livelli vibratorii, in particolare la rigidità e lo smorzamento interno del terreno e la profondità del letto roccioso. Infatti, l’energia immessa nel terreno dalla sorgente genera onde che si propagano modificandosi per effetto delle caratteristiche fisico-meccaniche del terreno attraversato. Il fenomeno si traduce nella generalità dei casi in un’attenuazione dell’intensità all’allontanarsi dalla sorgente, per effetto delle proprietà dissipative del terreno e per un effetto geometrico, ma fattori quali la stratificazione del terreno e la profondità delle falde acquifere possono avere effetti significativi. In generale, il fenomeno della propagazione nel terreno influenza le frequenze più alte e a distanze crescenti dalla sorgente si riscontra uno spettro caratterizzato da un contenuto spettrale sempre più ricco in basse frequenze;
- **edificio ricevitore** - le caratteristiche dell’edificio ricevitore stesso sono una componente fondamentale nella valutazione delle vibrazioni. I livelli di vibrazione dentro un edificio dipendono ovviamente dall’energia vibratoria che raggiunge le fondamenta, ma giocano un ruolo fondamentale anche l’accoppiamento tra le fondamenta e il terreno e la propagazione della vibrazione attraverso la struttura dell’edificio. Tali caratteristiche dinamiche dell’edificio dipendono a loro volta dalle caratteristiche costruttive, sia dell’edificio che delle fondazioni, e dallo stato di conservazione.

La durata, associata all'andamento temporale del fenomeno vibratorio, costituisce un elemento fondamentale per la valutazione del danno, perché da queste grandezze dipende in modo essenziale l'accumulo di danno per fatica dei materiali. In base a ciò si possono distinguere due categorie di vibrazioni indotte su un edificio ricevitore:

- **fenomeni di lunga durata (o persistenti)**, quando l'eccitazione è continua e presente per lunghi periodi (per es. il traffico stradale su strade di grande comunicazione) ed il fenomeno vibratorio è coincidente con la risposta forzata della struttura. Si annovera in questa categoria anche il caso in cui l'eccitazione sia costituita da una serie discreta di impulsi di durata più o meno variabile che si susseguono ad intervalli brevi (per es. l'eccitazione generata da magli, presse, punzonatrici etc);
- **fenomeni di breve durata**, quando l'eccitazione è indotta da una forzante di breve durata e che spesso si presenta come un fenomeno isolato (per es. il traffico ferroviario o le esplosioni di mine in una cava). In questi casi perde importanza il fenomeno della fatica e diviene prevalente l'importanza dell'ampiezza massima della sollecitazione indotta.

2.1. Norma UNI ISO 2631-2:2018

La UNI ISO 2631-2 si applica a vibrazioni trasmesse da superfici solide lungo gli assi x, y e z per persone in piedi, sedute o coricate. L'edizione in vigore, emanata nel 2018, annulla e sostituisce le precedenti versioni. Il campo di frequenze considerato è 1÷80 Hz e il parametro di valutazione è il valore efficace dell'accelerazione a_{rms} definito come:

$$a_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T a^2(t) dt}$$

dove $a(t)$ è l'accelerazione in funzione del tempo, T è la durata dell'integrazione nel tempo dell'accelerazione. La norma definisce tre curve base per le accelerazioni e tre curve base per le velocità (in funzione delle frequenze di centro banda definite per terzi di ottava) che rappresentano le curve approssimate di uguale risposta in termini di disturbo, rispettivamente per le accelerazioni riferite all'asse Z, agli assi X,Y e alla combinazione dei tre assi: i valori numerici delle curve base sono riportati nell'Allegato A della UNI ISO 2631-2, che fornisce informazioni sui criteri di valutazione della risposta soggettiva alle vibrazioni e definisce la frequenza di ponderazione W_m (posizione del soggetto non definita), in modo compatibile con la definizione matematica dei coefficienti di frequenza contenuti nella ISO 2631-1. Le vibrazioni devono essere misurate nel punto di ingresso nel corpo umano e

deve essere rilevato il valore di accelerazione rms perpendicolarmente alla superficie vibrante. Nel caso di edifici residenziali in cui non è facilmente definibile un asse specifico di vibrazione, in quanto lo stesso edificio può essere usato da persone in piedi o coricate in diverse ore del giorno, la norma presenta una curva limite che tiene conto delle condizioni più sfavorevoli combinate in tre assi.

2.2. Norma UNI 9614:2017

La norma definisce il metodo di misurazione delle vibrazioni immesse negli edifici ad opera di sorgenti interne o esterne agli edifici e i criteri di valutazione del disturbo delle persone all'interno degli edifici stessi. La norma modifica, in modo sostanziale, la versione precedente introducendo un approccio innovativo e profondamente diverso nelle modalità di valutazione dei disturbi da vibrazione. Essa fa riferimento alla UNI ISO 2631-2:2003, aggiornata poi nel 2018, prevalentemente per i metodi di misurazione e valutazione.

La norma si applica a tutti i fenomeni che possono dare origine a vibrazioni negli edifici; a titolo esemplificativo e non esaustivo: traffico su gomma e su rotaia, attività industriali e funzionamento di macchinari, attività stradali e di cantiere di varia natura, esplosioni e scoppi, attività umane di qualsiasi natura.

Le norme UNI 9614:2017 e UNI ISO 2631-2 caratterizzano la vibrazione di livello non costante, quale quella proveniente dal transito dei veicoli metropolitani, attraverso l'espressione del livello di accelerazione "a". Considerando cumulativo l'effetto di tutte le componenti di accelerazione per frequenze da 1 a 80 Hz vanno introdotti opportuni filtri di ponderazione che rendano tali componenti equivalenti dal punto di vista di percezione da parte dell'individuo (filtri di ponderazione forniti nell'Annex A della UNI ISO 2631-2). Il livello dell'accelerazione complessiva ponderata in frequenza L_W è fornito dalla relazione:

$$L_W = 10 \cdot (\text{Log}_{10} \sum_i 10^{\frac{L_{i,W}}{10}})$$

dove $L_{i,W}$ sono i livelli di vibrazione in accelerazione calcolati per terza di ottava.

2.2.1. Limiti di accelerazione ponderata

La norma UNI 9614 suggerisce dei valori di livello di accelerazione ponderata che sarebbe opportuno non superare, in funzione del tipo di edificio e della sua destinazione d'uso, come riportato nella seguente Tabella 2.1.

Tabella 2.1: Livelli limite della massima accelerazione ponderata in frequenza (L) per ambienti ad uso abitativo

Edificio	Limite (dB)
Aree critiche	71
Abitazioni (notte)	74
Abitazioni (giorno)	77
Uffici	83

2.3. Norma UNI 9916:2014

La norma tecnica UNI 9916:2014 descrive le metodologie appropriate per la misurazione, il trattamento dei dati finalizzati alla valutazione della potenzialità delle vibrazioni di causare danni di tipo architettonico agli edifici. La norma si applica in generale a tutte le tipologie di edifici e fornisce i valori indicativi di riferimento. Relativamente a tali valori di riferimento, la norma sottolinea che tali valori non possono essere considerati come limiti assoluti di accettabilità o non accettabilità del fenomeno vibratorio e che resta onere dello sperimentatore formulare il suo giudizio sulla base di una accurata valutazione di tutti i dati raccolti. Nel prosieguo del presente documento si utilizzerà il termine “limiti” per semplicità di lettura.

La norma considera per semplicità gamme di frequenza variabili da 0.1 Hz a 150 Hz. Tale intervallo interessa una grande casistica di edifici e di elementi strutturali di edifici sottoposti ad eccitazione naturale o causata dall'uomo (traffico, attività di costruzione, ecc.). In alcuni casi l'intervallo di frequenza delle vibrazioni può essere più ampio; tuttavia, le eccitazioni con contenuto in frequenza superiore a 150 Hz non sono tali da influenzare significativamente la risposta dell'edificio.

Agli scopi della norma è adottata la seguente classificazione in tipologie di **edificio**:

- costruzioni industriali e costruzioni strutturalmente simili;
- costruzioni residenziali e costruzioni strutturalmente simili;
- costruzioni che, per la loro sensibilità particolare alle vibrazioni, non rientrano nella precedente classificazione o sono di grande valore intrinseco (per es. edifici monumentali).

Le modalità di trattamento dei dati dipendono dalla natura dei segnali da analizzare, dalle finalità che l'elaborazione si prefigge e dall'accuratezza richiesta. Nel caso estremamente comune della determinazione della velocità, secondo cui sono espressi i limiti previsti dalla norma, a partire da un segnale di accelerazione, la procedura di integrazione consigliata opera nel dominio del tempo con due passaggi successivi:

- uso di un filtro passa alto per l'eliminazione del rumore di natura elettrica a bassa frequenza;

- l'integrazione del segnale filtrato, per esempio con il metodo dei trapezi.

La **velocità di picco puntuale** ("peak particle velocity", anche detta p.p.v.) è definita come il valore massimo del modulo vettore velocità misurato o ottenuto per integrazione in un dato punto. La determinazione della velocità di picco puntuale richiede la misurazione simultanea delle tre componenti mutuamente perpendicolari della velocità nel punto considerato. In particolare, le tre componenti devono essere combinate vettorialmente per determinare istante per istante il modulo della velocità risultante, che deve essere confrontato con il valore della velocità di soglia di riferimento.

La **velocità di picco di una componente puntuale** ("peak component particle velocity", anche detta p.c.p.v.) è definita come il valore massimo del modulo di una delle tre componenti ortogonali misurate simultaneamente in un punto e ottenute mediante integrazione.

2.3.1. Limiti velocità di vibrazione

Ai fini della valutazione della possibilità di danno architettonico, nei casi generali, la norma UNI 9916 raccomanda di fare riferimento alla norma tecnica DIN 4150 parte 3, la quale utilizza la velocità di picco di una componente puntuale (p.c.p.v.) e stabilisce dei valori limite per ciascuna delle tre tipologie di edificio. Inoltre, la norma tecnica DIN 4150 parte 3 prevede, ove possibile, la misurazione della vibrazione sia alla base dell'edificio che ai piani superiori, con particolare riferimento al piano più elevato per quanto riguarda le componenti orizzontali della velocità.

I limiti, per quanto riguarda sia le misurazioni alla base dell'edificio sia le componenti orizzontali della velocità ai piani superiori sono riportati nella seguente tabella.

Tabella 2.2: Valori di riferimento per la velocità di vibrazione al fine di valutare l'azione delle vibrazioni di breve durata sulle costruzioni

Classe	Tipo edificio	Valori di riferimento per la velocità di vibrazione - p.c.p.v. in mm/s				
		Base (fondazioni)			Piano alto Direzione orizzontale (X e Y)	Solai Direzione verticale (Z)
		1 Hz ÷ 10 Hz	10 Hz ÷ 50 Hz	50 Hz ÷ 100 Hz	Tutte le freq.	Tutte le freq.
1	Costruzioni industriali, edifici industriali e costruzioni strutturalmente simili	20	Varia linearmente da 20 (f=10 Hz) a 40 (f=50 Hz)	Varia linearmente da 40 (f=50 Hz) a 50 (f=100 Hz)	40	20
2	Edifici residenziali e costruzioni simili	5	Varia linearmente da 5 (f=10 Hz) a 15 (f=50 Hz)	Varia linearmente da 15 (f=50 Hz) a 20 (f=100 Hz)	15	20
3	Costruzioni che non ricadono nelle classi 1 e 2 e	3	Varia linearmente da 3 (f=10 Hz) a 8 (f=50 Hz)	Varia linearmente da 8 (f=50 Hz) a 10 (f=100 Hz)	8	3/4

3. INQUADRAMENTO GENERALE

3.1. Area di cantiere Piattaforma Europa

Il porto di Livorno si affaccia sul Mar Tirreno Settentrionale e si sviluppa lungo la linea di costa compresa tra la foce del Canale Scolmatore dell'Arno e il limite meridionale del centro storico della città di Livorno. L'area in cui verrà realizzata la nuova Piattaforma Europa è ubicata nella zona settentrionale dell'area portuale di Livorno. Più precisamente si tratta dell'espansione verso mare del "porto nuovo", che avverrà tra la Diga del Marzocco e l'armatura di foce del Canale Scolmatore d'Arno, di fronte alle casse di colmata recentemente realizzate con conterminazione a mare in scogliera.

La Figura 1 rappresenta la situazione attuale del Porto di Livorno, dove si riscontra che il riempimento delle casse di colmata a margine dell'area di intervento è pressoché completo, con un modesto volume residuo nella sola cassa Nord.



Figura 1: Assetto attuale del Porto di Livorno

Il progetto affidato alla RTI è il solo progetto delle opere foranee, non quello del terminal container (che si dovrà necessariamente adeguare). In particolare, nella seguente Figura 2 sono evidenziate le opere in progetto che saranno realizzate dalla RTI e che sono oggetto del presente elaborato.

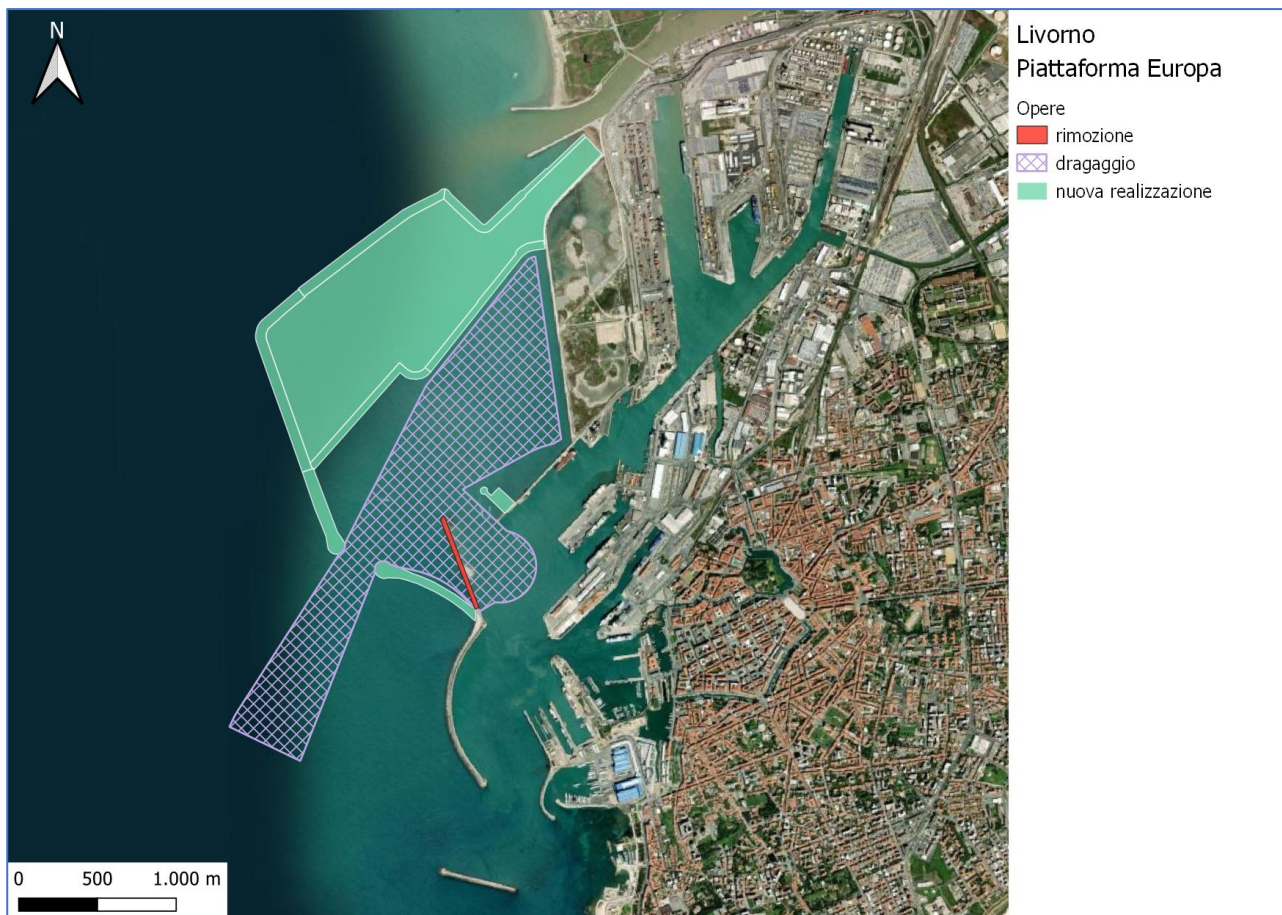


Figura 2: Opere in progetto che saranno realizzate dalla RTI e che sono oggetto del presente elaborato

La realizzazione della nuova Piattaforma Europa avverrà secondo un programma lavori definito da scelte progettuali della metodologia di dragaggio e di gestione dei sedimenti, scaturite dalla natura dei sedimenti da dragare, dalla capacità volumetrica della nuova colmata (denominato “Vasca 2”) e dall’analisi dei molteplici aspetti ambientali.

In particolare, l’intervento è stato suddiviso in corpi d’opera, identificati con la sigla WBS, che individuano le opere marittime (dighe esterne e interne) e i dragaggi (canali interno ed esterno e bacini interni), i cui sedimenti saranno utilizzati per il riempimento della Vasca 2.

Per completezza, si riporta nella seguente Figura 3 l’individuazione dei WBS e delle aree di cantiere previste.

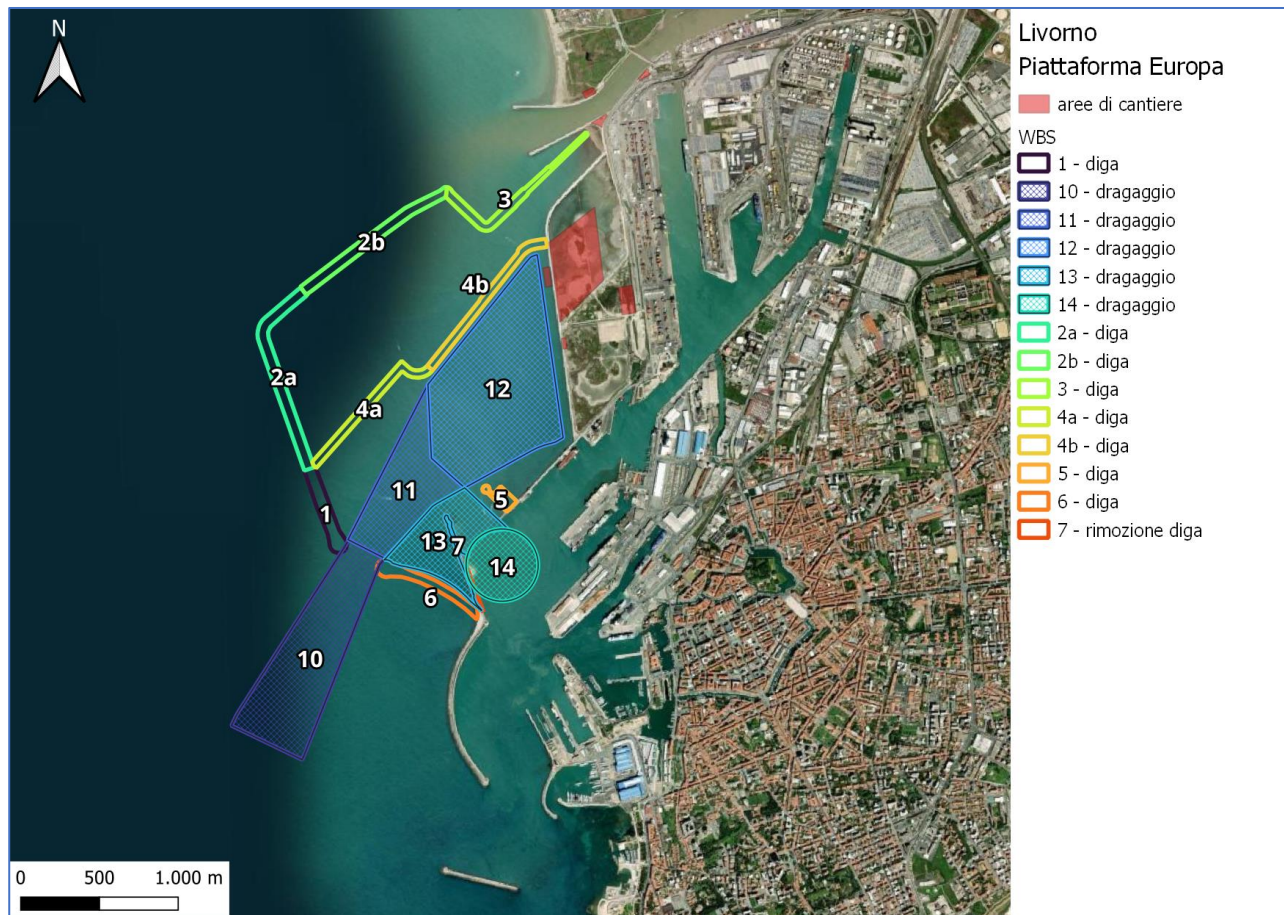


Figura 3: Individuazione delle WBS e delle aree di cantiere previste

Le opere marittime saranno realizzate secondo il seguente schema operativo:

- bonifica bellica, effettuato mediante mezzi marittimi;
- dragaggio, effettuato mediante mezzi marittimi;
- consolidamento del fondale mediante vibrosostituzione, effettuato mediante mezzi marittimi;
- realizzazione del nucleo e del filtro, effettuato inizialmente mediante mezzi marittimi e completato mediante mezzi terrestri;
- realizzazione della mantellata (ove presente), effettuata mediante marittimi;
- realizzazione del muro di coronamento (ove presente), mediante mezzi terrestri.
- posizionamento degli accropodi (ove presenti), effettuato mediante mezzi marittimi;

Le varie operazioni sopra elencate saranno realizzate da diverse squadre di lavoro, che potranno lavorare contemporaneamente sulla stessa diga o su dighe diverse, in base ad un dettagliato cronoprogramma lavori che vede come primo intervento la realizzazione delle dighe nord (WBS3 e WBS2) e come ultimo lavoro la realizzazione della nuova diga Meloria (WBS6) ed il successivo smontaggio dell'attuale diga Meloria (WBS7).

La realizzazione di ciascun WBS comporterà l'apporto e la movimentazione di materiali presso le diverse aree di cantiere e/o sulle dighe già realizzate, determinando un traffico terrestre e marittimo di entità variabile in base al cronoprogramma lavori.

3.1.1. Traffico indotto in ingresso/uscita

La RTI ha definito i tragitti di percorrenza dei mezzi pesanti che saranno utilizzati per apportare il materiale necessario alla realizzazione delle opere in progetto.

Nella successiva Figura 4 si evidenziano i tragitti di percorrenza individuati e di seguito elencati:

- Tr1 – dal casello autostradale A12 verso l'area di cantiere del Porto, percorso dai mezzi utilizzati per l'approvvigionamento di materiale;
- Tr2 – dall'area di cantiere del Porto verso il casello autostradale A12, percorso dai mezzi utilizzati per l'approvvigionamento di materiale dopo lo scarico;
- Tr3 – dall'area industriale sita in località Biscottino verso l'area di cantiere del Porto percorso dai mezzi utilizzati per il trasporto degli accropodi e dalle autobetoniere per la fornitura di calcestruzzo necessario alla realizzazione dei muri di coronamento sulle dighe in progetto;
- Tr4 – dall'area di cantiere del Porto verso l'area industriale sita in località Biscottino percorso dai mezzi utilizzati per il trasporto degli accropodi e dalle autobetoniere per la fornitura di calcestruzzo necessario alla realizzazione dei muri di coronamento sulle dighe in progetto dopo lo scarico;
- Tr5 – tragitti interni all'area di cantiere del Porto.

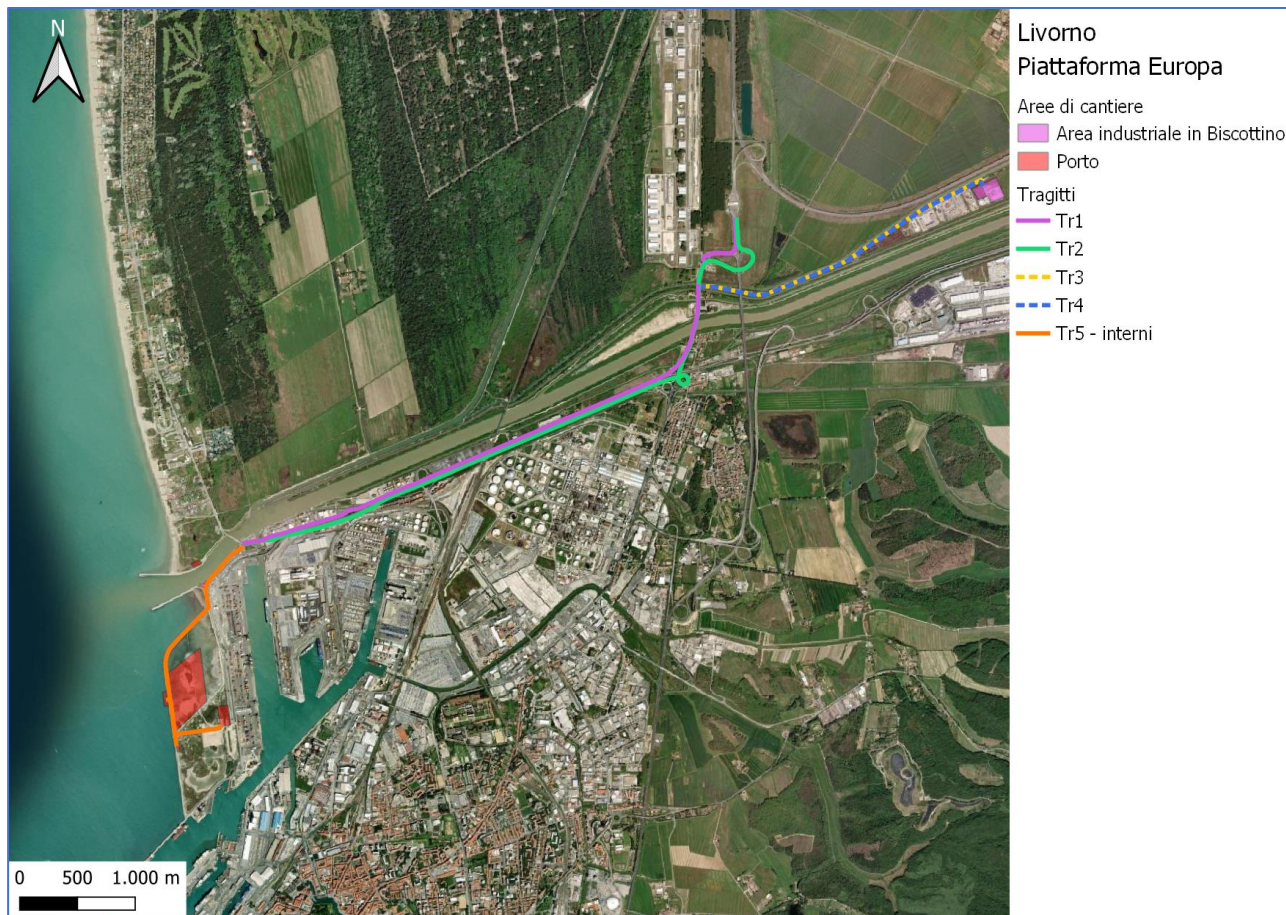


Figura 4: Tragitti di percorrenza dei mezzi pesanti che saranno utilizzati per apportare il materiale necessario alla realizzazione delle opere in progetto

3.2. Area di cantiere Biscottino

L'area industriale di proprietà SALES S.p.a. in cui verranno fabbricati gli accropodi è ubicata all'interno di un'area industriale sita in località Biscottino, nel Comune di Collesalveti (LI) ed identificata alle coordinate geografiche:

- Latitudine 43° 36' 36.76" N
- Longitudine 10° 23' 1.83" E

Nell'inquadramento generale riportato nella precedente Figura 4 **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** è individuata l'area industriale del Biscottino. Si accede a tale area a nord-ovest dalla Strada Statale 67bis "Arnaccio". A nord-ovest della Strada Statale 67bis, adiacente e parallelo alla stessa, scorre il corso d'acqua Fossa di Chiara, oltre il quale scorre parallelamente in sopraelevato un tronco dell'autostrada A12.

A sud-ovest dell'area industriale scorrono il corso d'acqua Canale Imperiale, un fossato agricolo e oltre ancora lo Scolmatore dell'Arno. A sud-ovest dello Scolmatore dell'Arno, scorre un tronco della Strada di Grande Comunicazione SGC Fi-Pi-Li.

Come si evince dall'analisi dall'inquadramento di dettaglio riportato nella successiva Figura 5, l'area industriale del Biscottino si inserisce in un contesto a carattere prevalentemente agricolo, a bassa densità abitativa, e le aree dove verranno fabbricati gli accropodi in progetto confinano:

- a sud-ovest con la pertinenza di un'attività di produzione di calcestruzzo (di seguito anche CLS) di proprietà della Unical S.p.A., dove verrà prodotto il calcestruzzo che la RTI utilizzerà per produrre gli accropodi e per realizzare i muri di coronamento che saranno realizzati sulle dighe in progetto;
- a nord-ovest con un'autofficina di veicoli industriali, che si sviluppa in alcuni capannoni e in un piazzale in cui sono parcheggiati molteplici camion ed autoveicoli. A ovest dell'autofficina si trova un edificio destinato a civile abitazione di due piani fuori terra, che dista dall'area in oggetto circa 50 m;
- a nord-est con terreni a destinazione agricola, che si sviluppano all'interno della Zona di Protezione Speciale ZPS – ZSC IT5160001 Palude di Suese e Biscottino, all'interno della quale si trovano alcuni edifici che costituiscono la località Le Case I e che distano dall'area in oggetto circa 1250 m.



Figura 5: Inquadramento di dettaglio dell'area di cantiere del Biscottino

3.2.1. Cicli lavorativi

I cicli di lavoro attualmente autorizzati consistono nella movimentazione di inerti finalizzata alla vendita e alla produzione di calcestruzzo. Il calcestruzzo prodotto da un mescolatore è caricato su betoniere, le quali una volta cariche procedono a raggiungere il proprio luogo di destinazione. Tale attività, già autorizzata, non sarà effettuata per la produzione degli accropodi richiesti dalla RTI per la realizzazione del progetto oggetto del presente elaborato, ma è possibile che durante l'intervallo temporale in cui è prevista la produzione di accropodi la società SALES S.p.a. attivi tale ciclo per la produzione di calcestruzzo utilizzato per altri appalti ed inviato ad altri cantieri. Durante la produzione di calcestruzzo sono utilizzati nell'area del Mescolatore CLS n.2 pale gommate, per la movimentazione degli inerti.

L'attività di fabbricazione di accropodi è realizzata mediante scarico di calcestruzzo in casseforme da autobetoniere, caricate dall'impianto di produzione di CLS dell'adiacente Unical S.p.A., la quale è autorizzata all'esercizio e non prevede alcun incremento dei propri volumi di produzione. Dopo circa 1 giorno di maturazione, gli accropodi vengono scasserati e spostati e quindi stoccati per la fase di stagionatura, la quale dura alcuni giorni. Le aree di stoccaggio per la stagionatura sono indicate nella successiva Figura 6, dove vengono individuate anche la rampa utilizzata dalle betoniere per scaricare il CLS all'interno delle casseforme posizionate lateralmente, come schematicamente mostrato nella successiva Figura 7, ed il tragitto percorso dalle betoniere tra l'impianto Unical S.p.A. e l'area di fabbricazione degli accropodi.

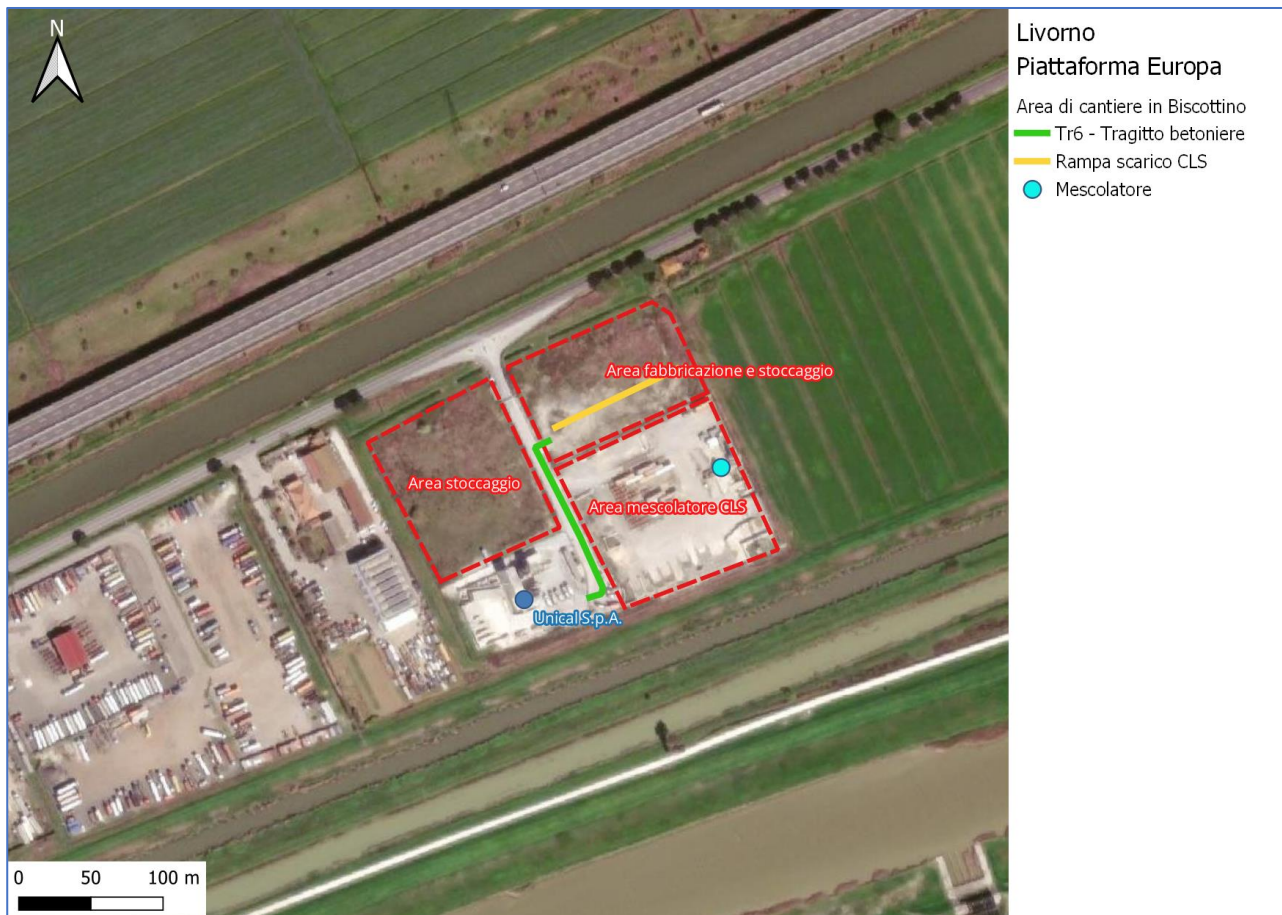


Figura 6: Inquadramento di dettaglio dell'area industriale di SALES S.p.a. in località Biscottino, nel Comune di Collesalveti (LI)

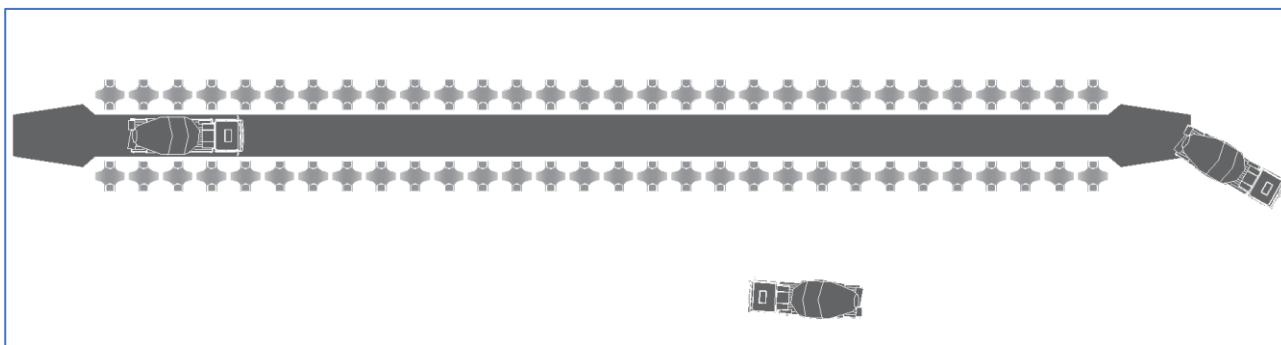


Figura 7: Schema della rampa di scarico di CLS nelle casseforme per la fabbricazione di accropodi

Al termine della stagionatura i blocchi vengono caricati su camion e trasportati presso l'area di cantiere del Porto, in prossimità della banchina temporanea da cui saranno caricati sulle navi che li posizioneranno lungo le dighe in progetto.

La movimentazione delle casseforme e degli accropodi viene realizzata mediante n.1 escavatore e n.2 pale gommate modificate per sollevamento di grandi pesi (di seguito

denominate anche “sollevatori”). In base al volume di produzione previsto dalla RTI ed equivalente a 60 accropodi al giorno, è previsto lo scarico di 24 betoniere al giorno.

3.2.2. Traffico indotto in ingresso/uscita

Il traffico indotto dall'attività di fabbricazione degli accropodi, in base ai volumi di produzione previsti dalla RTI è suddiviso nei seguenti tragitti in base alla tipologia di attività:

- Tr3 (già individuato nel precedente paragrafo **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** ed in Figura 4) – dall'area industriale sita in località Biscottino verso l'area di cantiere del Porto percorso dai mezzi utilizzati per il trasporto degli accropodi e dalle autobetoniere per la fornitura di calcestruzzo necessario alla realizzazione dei muri di coronamento sulle dighe in progetto;
- Tr4 (già individuato nel precedente paragrafo **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** ed in Figura 4) – dall'area di cantiere del Porto verso l'area industriale sita in località Biscottino percorso dai mezzi utilizzati per il trasporto degli accropodi e dalle autobetoniere per la fornitura di calcestruzzo necessario alla realizzazione dei muri di coronamento sulle dighe in progetto;
- Tr6 – tragitto interno all'area industriale percorso dalle betoniere tra l'impianto Unical e l'area di fabbricazione degli accropodi.

A questi si aggiungono i tragitti utilizzati dai mezzi pesanti necessari alla produzione e vendita del calcestruzzo utilizzato per altri appalti ed inviato ad altri cantieri:

- Tr7 - dal casello autostradale A12 verso l'area del Mescolatore CLS di SALES S.p.A., percorso dai mezzi utilizzati per l'approvvigionamento di materiale necessari alla produzione del calcestruzzo;
- Tr8 – dall'area del Mescolatore CLS di SALES S.p.A. ed il casello autostradale dell'uscita Livorno della A12 percorso dalle betoniere per la fornitura di CLS utilizzato per altri appalti ed inviato ad altri cantieri.

Nella successiva Figura 8 si evidenziano i tragitti di percorrenza Tr6, Tr7 e Tr8 sopra elencati.



Figura 8: Tragitti di percorrenza dei mezzi pesanti che saranno utilizzati in ingresso e uscita dall'area di cantiere Biscottino

4. INDIVIDUAZIONE DEI RICETTORI

La tipologia di macchinari e di attività lavorative previste nell'area di cantiere del Porto e nell'area di cantiere del Biscottino, vista la grande distanza da eventuali punti ricettore che attenua significativamente l'entità delle emissioni, è tale da far sì che i macchinari suddetti non costituiscano fonte di vibrazioni rilevante. Pertanto la valutazione del possibile impatto delle vibrazioni è stata condotta considerando come unica sorgente vibratoria il traffico indotto per l'approvvigionamento di materiale e accropodi. Inoltre, tutte le attività di cantiere terrestre e così la circolazione del traffico per l'approvvigionamento materiali e accropodi saranno svolte esclusivamente nelle ore diurne; pertanto, è da escludersi un qualsiasi impatto notturno.

Il traffico indotto è costituito in massima parte da mezzi pesanti e si considera il caso peggiore in cui due mezzi pesanti stiano transitando contemporaneamente di fronte al ricettore, uno per ciascuna direzione di marcia. Pertanto, al fine di individuare il ricettore potenzialmente più impattato sono stati considerati gli edifici adiacenti al tratto di Strada Statale 67bis "Arnaccio", in quanto costituito da due carreggiate non separate e quindi con la minima distanza dei mezzi pesanti dagli edifici.

Inoltre, in ragione dell'attenuazione dell'intensità del fenomeno vibratorio all'allontanarsi dalla sorgente, per effetto delle proprietà dissipative del terreno e per divergenza geometrica, ai fini del presente studio si è considerato unicamente il ricettore più vicino alle potenziali sorgenti di vibrazioni. Pertanto, tra gli edifici adiacenti al Strada Statale 67bis "Arnaccio" si individua come ricettore potenzialmente più impattato l'edificio individuato ai civici 81-83-87, destinato a civile abitazione, che si trova a circa 6 m di distanza dal centro della carreggiata più vicina e circa 10 m dal centro della carreggiata opposta. L'edificio ricettore RV1 così identificato è individuato nella seguente Figura 9.



Figura 9: Ricettore RV1 individuato per la valutazione del possibile impatto delle vibrazioni indotte dalle attività del cantiere

Si specifica che il ricettore sensibile più vicino ai tratti stradali interessati dal traffico indotto è costituito dalla Scuola Secondaria C. Marchesi, ubicata in Via Marchesi, in località Stagno, che risulta essere a una distanza di 265 m. In ragione di tale elevata distanza si può affermare senza ombra di ragionevole dubbio che nessun ricettore sensibile sarà interessato dalle vibrazioni indotte dalle attività del cantiere oggetto del presente studio.

Di seguito si riportano i valori limite dei livelli delle accelerazioni complessive ponderate in frequenza previsti dalla UNI 9614 per il ricettore RV1, in base alla destinazione d'uso residenziale e al periodo di riferimento in cui sono attive le sorgenti vibrazionali.

Tabella 4.1: Valori limite dei livelli delle accelerazioni complessive ponderate in frequenza

Destinazione d'uso	Assi x e y
Abitazioni - periodo diurno	77 dB

5. VALUTAZIONE DELL'ENTITÀ DELLE VIBRAZIONI AI RICETTORI

La valutazione previsionale per la stima dell'entità delle vibrazioni che possono essere indotte al ricevitore individuato RV1 è stata effettuata mediante un modello di propagazione classico, che ipotizza una formula di propagazione semplificata e che risulta cautelativo in assenza di particolari risonanze indotte dalla stratigrafia del terreno.

In particolare, si stima il livello delle accelerazioni complessive ponderate in frequenza e si pone a confronto con i valori soglia di disturbo. Infatti, come già riportato nella parte introduttiva del presente studio, affinché le vibrazioni possano arrecare danni strutturali agli edifici, è necessario che esse raggiungano livelli tali da causare prima fastidio e disturbo agli occupanti. Per questo motivo, i valori limite per le vibrazioni al fine di valutare i potenziali effetti in termini di danni agli edifici sono generalmente più elevati di quelli utilizzati per valutare il disturbo alle persone.

In seguito a risultati di misure effettuate e data reperibili in letteratura, si può assumere un livello di vibrazione da associare al transito di un singolo mezzo pesante pari a $L_{A,5m}=74,0$ dB misurato a distanza di 5 m dal centro della sorgente. Considerando a favore di sicurezza il contemporaneo di due mezzi pesanti, il livello di vibrazione assunto per la conduzione delle verifiche risulta pari a $L_{A,5m}=77,0$ dB, associato ad un'unica sorgente equivalente. A favore di sicurezza è stato considerato il transito dei due mezzi pesanti a 6 m di distanza dal ricevitore RV1, senza considerare la maggiore distanza del transito del mezzo pesante sulla carreggiata opposta. Inoltre, per semplicità di calcolo e senza venire meno al principio cautelativo si può assumere che la sorgente sia caratterizzata da uno spettro bianco, come mostrato in Tabella 5.1.

Tabella 5.1: Frequenza (banda di ottava) della sorgente in fase di cantiere

Frequenza (bande di ottava)	1 Hz	2 Hz	4 Hz	8 Hz	16 Hz	31,5 Hz	63 Hz	Banda larga
$L_{A,5m}$ in dB	56,0	59,0	62,0	65,0	68,0	71,0	74,0	77,0

Alla vibrazione indotta da tale sorgente equivalente nel terreno si applica quindi il modello di propagazione per la stima del livello di accelerazione a distanza d mediante la relazione:

$$a(d, f) = a(d_0, f) \cdot \left(\frac{d_0}{d}\right)^n \cdot e^{-\alpha f(d-d_0)}$$

in cui $a(d_0, f)$ è il valore dell'accelerazione alla distanza di riferimento $d_0=5$ m e f è la frequenza considerata [Hz]. Il comportamento dissipativo del mezzo è pertanto funzione anche della frequenza f . L'esponente n varia a seconda del tipo di onda e di sorgente di vibrazioni ed il

caso peggiore in quanto più cautelativo per il ricevitore è $n = 0.5$ (onde di superficie con sorgente puntiforme). Infine, il coefficiente di assorbimento α assume il seguente valore:

$$\alpha = \frac{2\pi\mu}{c}$$

dove μ è il fattore di perdita del terreno e c è la velocità di propagazione dell'onda [m/s]. Dalla precedente relazione si evince che nei terreni più soffici l'attenuazione intrinseca del mezzo di propagazione è maggiore di quella nelle rocce compatte; le frequenze più alte, inoltre, sono attenuate più di quelle basse. La migliore propagazione delle vibrazioni (equivalente ad attenuazione molto bassa), pertanto, si ha in presenza di terreno rigido e a basse frequenze (in tal caso, infatti, il termine $f\mu/c$ assume valori bassi).

Il calcolo per la stima del livello di accelerazione, in prossimità dell'edificio ricevitore più impattato di cui al precedente Capitolo 0, è stato effettuato considerando due diversi tipi di terreno, argilloso e roccioso, in quanto il terreno risulta essere costituito in prevalenza da strati lapidei con subordinati livelli argillosi.

È possibile reperire in letteratura i valori relativi alla propagazione delle onde longitudinali generate da sorgente vibrazionale in terreni argillosi o terreni rocciosi, riportati in Tabella 5.2.

Tabella 5.2: Valori di propagazione per terreni rocciosi e argillosi

Tipo di terreno	Velocità di propagazione in m/s	fattore di perdita μ
Terreni rocciosi	3500	0,01
Terreni argillosi	1500	0,5

I risultati del calcolo, riportati nella seguente Tabella 5.3, costituiscono i limiti inferiore e superiore al livello atteso.

Tabella 5.3: Risultati dei calcoli dei livelli di accelerazione in prossimità del ricevitore più impattato

Livello di accelerazione in prossimità del ricevitore più impattato in caso di terreno roccioso								
Frequenza (bande di ottava)	1 Hz	2 Hz	4 Hz	8 Hz	16 Hz	31,5 Hz	63 Hz	Banda larga
L_{A,5m} in dB	55,2	58,2	61,2	64,2	67,2	70,2	73,2	76,2
Livello di accelerazione in prossimità del ricevitore impattato in caso di terreno argilloso								
Frequenza (bande di ottava)	1 Hz	2 Hz	4 Hz	8 Hz	16 Hz	31,5 Hz	63 Hz	Banda larga
L_{A,5m} in dB	55,2	58,2	61,1	64,1	66,9	69,6	72,1	75,5

Dall'analisi della precedente Tabella 5.3 si evince che la parte di terreno roccioso contribuisce alla trasmissione delle frequenze più alte, mentre la parte di terreno argilloso permette la propagazione principalmente delle basse frequenze.

In definitiva, anche considerando l'ipotesi più cautelativa che il terreno sia unicamente roccioso, **il livello dell'accelerazione in prossimità del ricettore più impattato risulta inferiore ai relativi valori limite di disturbo per i luoghi abitativi, pari a 77 dB.**

6. CONCLUSIONI

Alla luce delle analisi svolte nel presente studio previsionale il livello di vibrazione stimato sia in fase di esercizio che nella fase di cantiere sull'edificio ricevitore considerato è risultato inferiore ai valori limite di valutazione del disturbo (UNI 9614:2017); di conseguenza sono da escludersi anche potenziali effetti di danno architettonico agli stessi edifici (UNI 9916:2014).

Essendo gli altri edifici ricevitori posti a distanze maggiori rispetto a quelle considerate per i calcoli, anche per essi valgono le considerazioni di cui sopra.

In seguito alle considerazioni fatte e specificando che il rispetto dei limiti risulta soddisfatto nella fase di cantiere.

La presente valutazione è stata redatta dal Dott. Luca Nencini, fisico specialista.

Autore

Dott. Luca Nencini
Fisico specialista

