



COMUNE DI SAN GIORGIO DI PIANO

Servizio Lavori Pubblici



CITTA' METROPOLITANA DI BOLOGNA

Servizio Progettazione Costruzioni e Manutenzione Strade

RIORGANIZZAZIONE DELLA VIABILITÀ DI ADDUZIONE ALL'ACCESSO NORD DELL'INTERPORTO DI BOLOGNA NEL COMUNE DI SAN GIORGIO DI PIANO

SOGGETTO ATTUATORE



REFERENTE TECNICO
Arch. Alessandro Gaiani

COMUNE DI SAN GIORGIO DI PIANO

DIRITTORE AREA PROGRAMMAZIONE E GESTIONE DEL TERRITORIO
Arch. Elena Chiarelli

CITTA' METROPOLITANA DI BOLOGNA

DIRIGENTE DEL SERVIZIO VIABILITÀ
Ing. Pietro Luminasi

REFERENTE TECNICO
Ing. Francesco Vitale

PROGETTO DEFINITIVO

DOCUMENTAZIONE GENERALE

PARTE GENERALE

STUDIO DI FATTIBILITÀ AMBIENTALE INTEGRAZIONI

IL PROGETTISTA SPECIALISTICO

Ing. Sara Frisiani
Ord. Ingg. Genova N. 9810A
RESPONSABILE AMBIENTE

IL RESPONSABILE INTEGRAZIONE
PRESTAZIONI SPECIALISTICHE

Ing. Michele Angelo Parrella
Ord. Ingg. Avellino N. 933
PROJECT ENGINEER

IL DIRETTORE TECNICO

Ing. Andrea Tanzi
Ord. Ingg. Parma N. 1154

CODICE IDENTIFICATIVO															Ordinatore: — SCALA: —
RIFERIMENTO PROGETTO					RIFERIMENTO DIRETTORIO						RIFERIMENTO ELABORATO				
Codice Commessa		Lotto, Sub- Cod. Appalto	Fase	Capitolo	Paragrafo	WBS tipologia progressivo		PARTE D'OPERA		Tip.	Disciplina	Progressivo	Rev.		
57	100	1	SP	0	1	PDDG	AMB	000000	000000	000000	R	AMB	0100	—	0



PROJECT MANAGER:

SUPPORTO SPECIALISTICO:

REVISIONE

n.	data
0	GIUGNO 2021

REDATTO:

VERIFICATO:

INDICE

1 PREMESSA 2

2 MOBILITÀ E TRAFFICO..... 3

 2.1 POTENZIALI EFFETTI DERIVANTI DALL’ATTUAZIONE DEL PROGETTO8

 2.1.1 *Impatto delle attività di cantiere*.....8

 2.1.2 *Impatto della fase di esercizio*.....8

3 RUMORE..... 9

 3.1 INTRODUZIONE.....9

 3.2 RIFERIMENTI NORMATIVI.....10

 3.3 PIANO DI CLASSIFICAZIONE ACUSTICA DEL TERRITORIO COMUNALE DI SAN GIORGIO DI PIANO.....12

 3.4 CLIMA ACUSTICO ATTUALE E MONITORAGGIO ACUSTICO ANTE-OPERAM.....14

 3.4.1 *Modello previsionale Soundplan*15

 3.4.2 *Modelli previsionali*.....15

 3.4.3 *Dati di traffico*.....17

 3.4.4 *Taratura del modello Previsionale*.....17

 3.5 PREVISIONE DEI LIVELLI DI RUMORE AI RICETTORI17

 3.5.1 *Specifiche di calcolo*18

 3.5.2 *Scenari simulati*18

 3.6 RISULTATI DELLE SIMULAZIONI18

 3.6.1 *Conclusioni*24

4 VALUTAZIONE DELLE CARATTERISTICHE GEOMECCANICHE 25

 4.1 CATEGORIA SISMICA DEI TERRENI E ACCELERAZIONE SISMICA DI RIFERIMENTO28

 4.1.1 *Categoria di suolo*.....28

 4.1.2 *Accelerazione sismica*.....28

 4.2 CONSIDERAZIONI SUL FENOMENO DELLA LIQUEFAZIONE28

5 IDRAULICA 33

1 **PREMESSA**

Le seguenti integrazioni, relative al progetto definitivo degli “INTERVENTI FUNZIONALI ALL'ACCESSO NORD DELL'INTERPORTO DI BOLOGNA” nel Comune di San Giorgio di Piano, rispondono alle richieste degli Enti, presentate in sede di “Procedimento unico” di cui all'art.53 della L.R. 24/2017, finalizzato all'approvazione della localizzazione dell'opera in variante alla pianificazione urbanistica vigente del Comune di San Giorgio di Piano, nonché all'apposizione del vincolo preordinato all'esproprio e alla dichiarazione di pubblica utilità dell'opera.

Tali richieste sono pervenute in sede di:

- Conferenza dei Servizi del 09-04-2021;
- Tavolo tecnico del 16-04-2021 per verifica tema trasporto pubblico e successivi contatti con amministrazione e tecnici;
- Tavolo tecnico osservazioni privati del 29/04/2021 e successivi incontri con gli stessi;
- Richiesta di integrazione RER, pervenuta via CM, in data 22-04-2021;
- Richiesta integrazione ARPAE Sindoc 10161/2021;
- Richiesta di integrazioni Città Metropolitana;
- Incontri di coordinamento e verifica con enti gestori.

2 MOBILITÀ E TRAFFICO

Lo Studio di traffico è stato organizzato metodologicamente secondo le seguenti attività:

- 1) Rilievo e raccolta dati di traffico per fotografare l'attuale condizione trasportistica della rete;
- 2) Previsione di crescita della domanda di mobilità nel breve termine alla completa entrata in esercizio delle opere previste: 2025;
- 3) Stima del traffico indotto dal nuovo accesso nord all'interporto di Bologna;
- 4) Ricostruzione della domanda di mobilità all'anno 2025;
- 5) Verifica funzionale delle opere in progetto;
- 6) Stima TGMA per calcolo pavimentazioni, barriere di sicurezza e analisi ambientali.

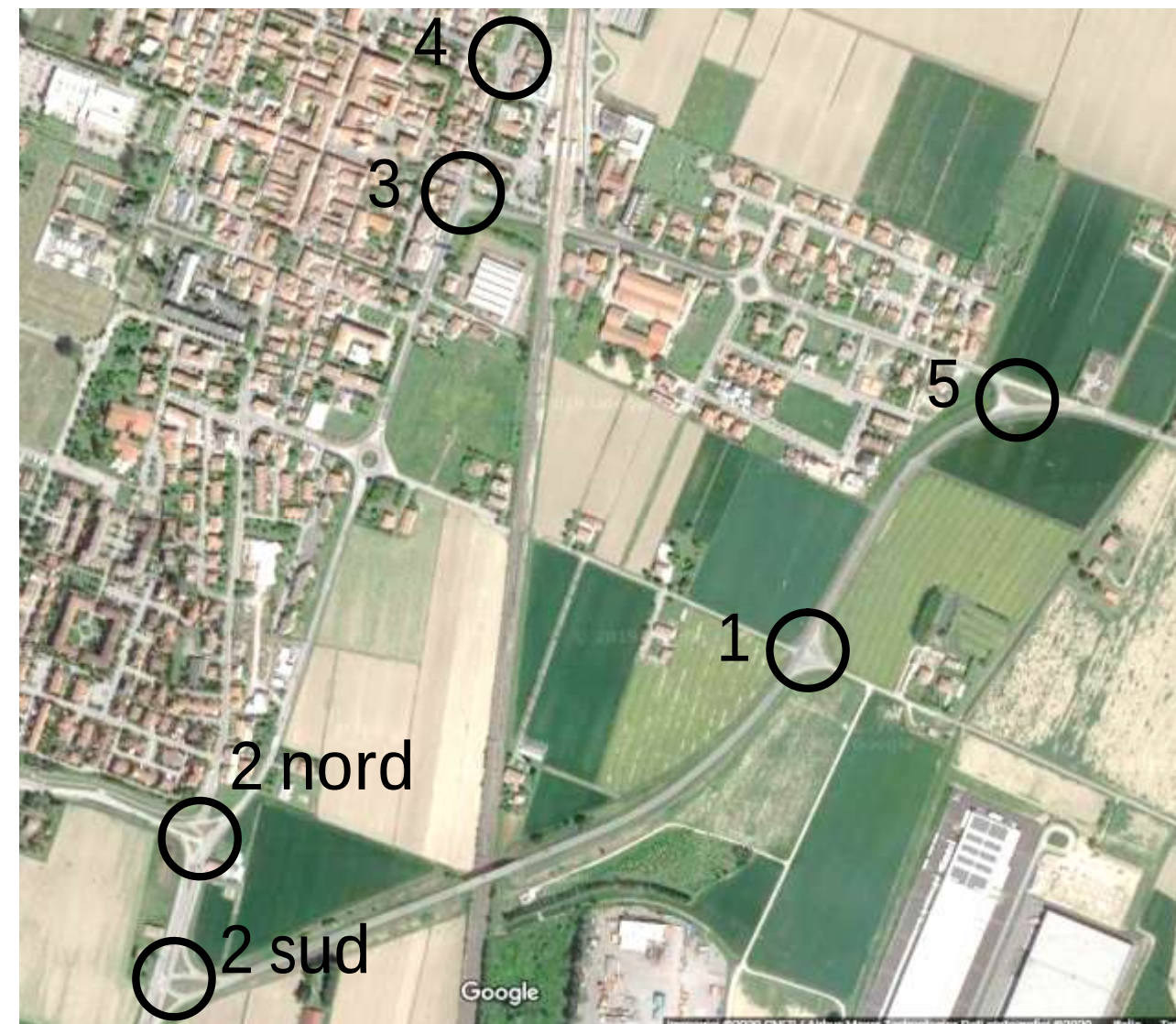
Si riporta qui una sintesi della revisione dello studio, elaborato sulla base delle richieste dell'ARPAE.

A supporto della progettazione sono state effettuate analisi trasportistiche specifiche.

La campagna di indagini è stata effettuata l'1 Ottobre 2019 ed ha visto il rilievo dei flussi in sei intersezioni per l'ora di punta mattutina 7-8 e per quella pomeridiana 17-18; i flussi sono stati classificati in veicoli leggeri, commerciali leggeri e commerciali pesanti; il rilievo è stato effettuato tramite riprese video su tubi telescopici. La classe leggeri comprende le auto e le moto; la classe commerciali leggeri comprende i veicoli a due assi che presentano sull'asse anteriore un'altezza della carrozzeria maggiore di 1.3 metri; la classe commerciali pesanti comprende i veicoli dai tre assi in su.

L'immagine seguente riporta i nodi indagati mentre le pagine seguenti riportano i dati rilevati.

Figura 2-1. Nodi indagati



La direttrice principale di attraversamento del territorio comunale di San Giorgio di Piano è la S.P. n. 4 "Galliera" che lambisce il centro storico del comune.

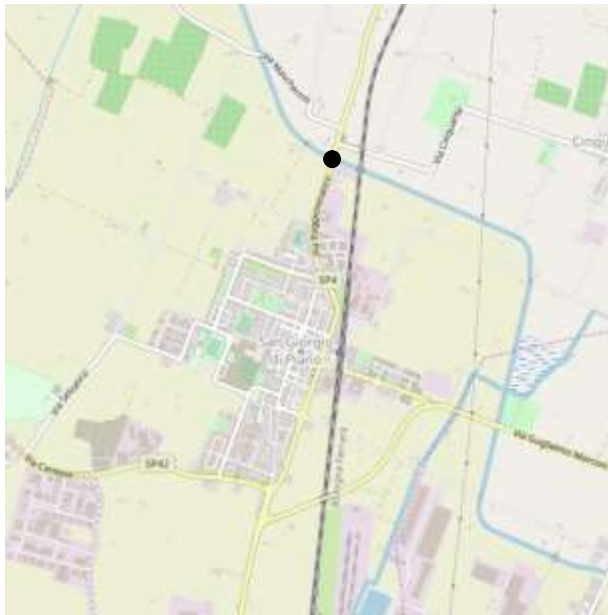
Per quanto riguarda la direzione est-ovest, la direttrice principale è invece rappresentata dalla S.P. n. 44 "Bassa Bolognese" che ha inizio, in comune di San Giorgio di Piano, in corrispondenza dell'intersezione con la S.P.4 (Via Provinciale Bologna) e termina in comune di Minerbio, all'intersezione con la SP5 "San Donato" (Via Garibaldi / Via Savena Inferiore).

Il territorio è attraversato pressoché centralmente, in direzione sud-nord, dalla linea ferroviaria Bologna Ferrara ed è dotato anche della stazione ferroviaria.

Nella relazione vengono riportati tutti i dati rilevati.

Come indicazione dell'andamento orario giornaliero e annuale del traffico nell'area di studio si è fatto riferimento ai dati messi a disposizione dalla Regione Emilia Romagna tramite il sistema MTS e nello specifico la sua postazione numero 292 situata lungo la SP4 a nord del comune di San Giorgio di Piano sul canale Emiliano – Romagnolo.

Figura 2-2. Postazione MTS



Dai dati della postazione MTS si è poi pervenuti alla crescita media annua del traffico dal 2009 al 2018 per ciascuna delle classi veicolari considerate.

La domanda di spostamento dell'area di studio al 2025 è stata stimata applicando alla domanda attuale (rilevata) la crescita media annua rilevata in termini di TGMA alla sezione 292 del sistema di rilievo dei flussi MTS della regione Emilia Romagna.

L'analisi della domanda indotta dall'interporto e che andrà ad interessare le intersezioni oggetto di intervento, si è basata sui dati forniti dall'interporto stesso. I dati messi a disposizione hanno fornito i flussi in entrata ed in uscita dall'Interporto nel giorno 1 Ottobre 2019 (medesimo giorno della campagna di rilievo alle intersezioni) per le fasce orarie 7-8 e 17-18 con distinzione in veicoli leggeri e commerciali.

Con riferimento ai soli veicoli leggeri, che saranno gli unici a cui sarà consentito di gravitare sul nuovo accesso nord¹, è stata applicata – come da indicazioni di Interporto - una crescita del +6% dal 2019 al 2025. Tale crescita è attribuibile al *III Piano Particolareggiato di Esecuzione* di Interporto.

Per la stima dei veicoli che graviteranno sull'accesso nord si è poi applicata la percentuale del 30% - fornita da Interporto – che rappresenta la quota parte di veicoli leggeri, oggi gravitanti sull'accesso sud, che si sposteranno sull'accesso nord.

Si è così pervenuti alla domanda 2025 gravitante sul nuovo accesso nord di Interporto

Tabella 2-1. Domanda Interporto accesso nord 2025

Domanda interporto Accesso nord	LEGGERI	
	Entrate	Uscite
[veicoli / ora]		
7:00-8:00	225	23
17:00-18:00	51	248

I flussi così ottenuti e riguardanti il futuro nuovo accesso nord, sono stati ripartiti proporzionalmente ai flussi rilevati attualmente lungo le direttrici stradali gravitanti sul medesimo nuovo accesso nord.

Figura 2-3. Direttrici di origine/destinazione dei flussi attratti/generati da Interporto per l'Accesso Nord



DOMANDA COMPLESSIVA AL 2025

La domanda che interesserà le intersezioni oggetto di progettazione nell'anno 2025, una volta aperto il nuovo accesso nord dell'interporto, è stata stimata sovrapponendo la domanda attuale proiettata nel 2025 e la domanda dell'Interporto al 2025 gravitante sull'accesso Nord.

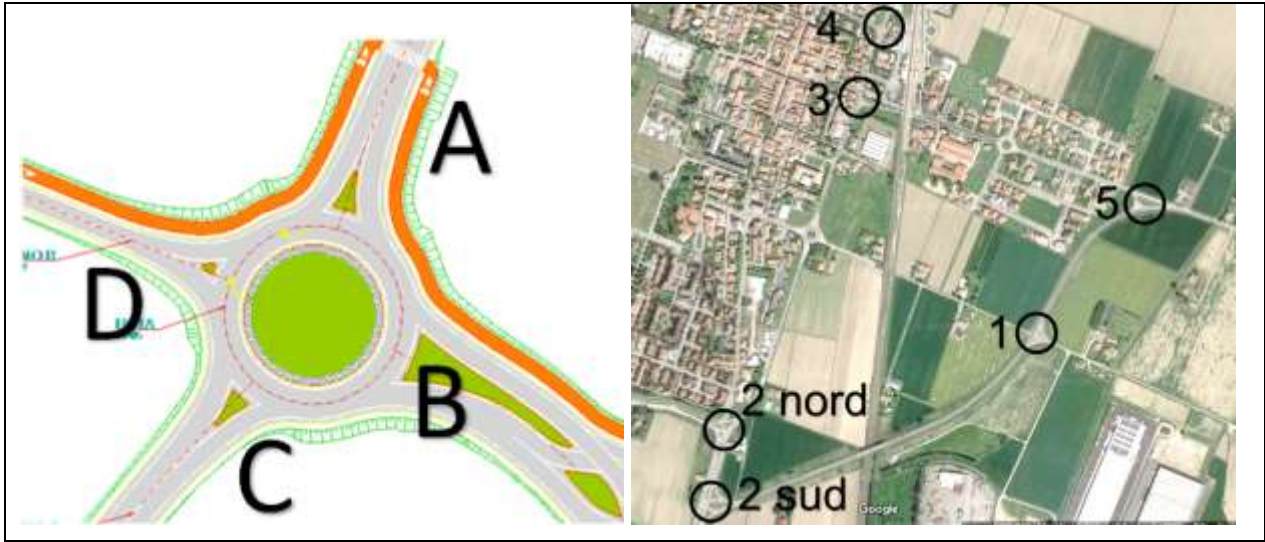
La domanda dell'Interporto è stata definita ai singoli nodi ipotizzando specifici itinerari di gravitazione da/verso interporto e considerando anche le manovre che le nuove rotatorie consentono in più rispetto all'attualità e ai divieti ai Commerciali Pesanti (CP) che sono attualmente presenti (sottopasso ferroviario).

Si sono così ottenute le seguenti matrici di nodo.

¹ Sull'accesso nord graviteranno anche i mezzi del Trasporto Pubblico e 10/12 navette al giorno. L'impatto di tali veicoli, vista l'irrisorietà numerica, è stato considerato trascurabile e quindi non considerato nel calcolo della domanda dell'accesso nord di Interporto.

RIORGANIZZAZIONE DELLA VIABILITÀ DI ADDUZIONE
ALL'ACCESSO NORD DELL'INTERPORTO DI BOLOGNA

Tabella 2-2. Intersezione 1



01/10/2025 7.00-8.00

L	A	B	C	D
A	0	121	344	0
B	11	0	20	0
C	517	110	0	0
D	1	0	1	0

01/10/2025 17.00-18.00

L	A	B	C	D
A	0	23	467	1
B	124	0	128	0
C	528	33	0	0
D	0	0	0	0

01/10/2025 7.00-8.00

CL	A	B	C	D
A	0	0	37	0
B	0	0	0	0
C	60	0	0	0
D	0	0	0	0

01/10/2025 17.00-18.00

CL	A	B	C	D
A	0	0	41	0
B	0	0	0	0
C	52	0	0	0
D	0	0	0	0

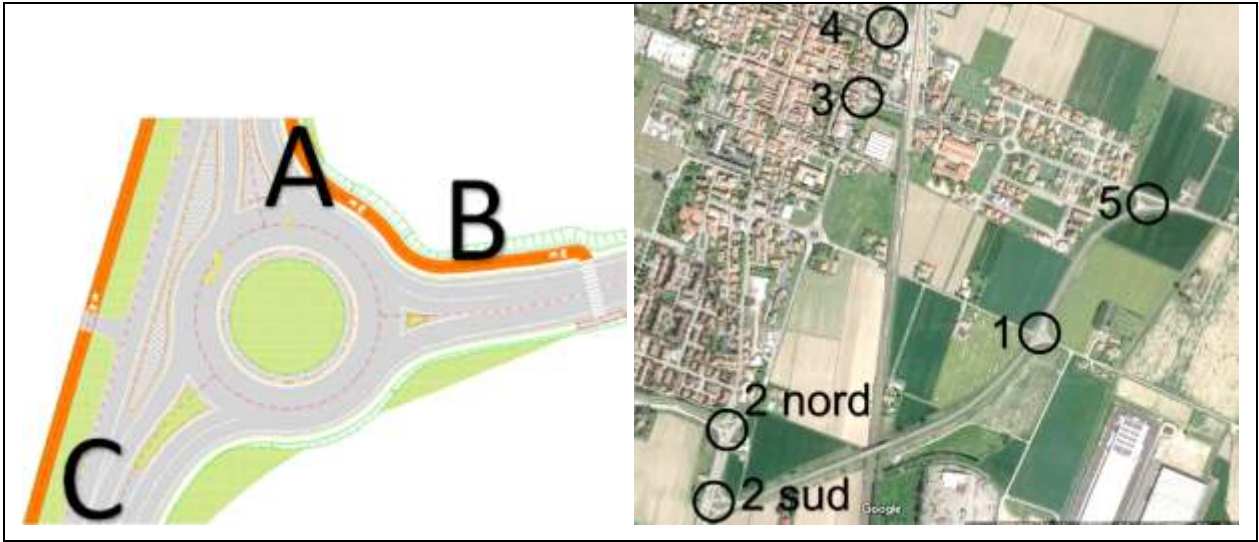
01/10/2025 7.00-8.00

CP	A	B	C	D
A	0	0	10	0
B	0	0	0	0
C	7	0	0	0
D	0	0	0	0

01/10/2025 17.00-18.00

CP	A	B	C	D
A	0	0	9	0
B	0	0	0	0
C	5	1	0	0
D	0	0	0	0

Tabella 2-3. Intersezione 2 sud



01/10/2025 7.00-8.00

L	A	B	C
A	0	272	1166
B	196	0	163
C	286	112	0

01/10/2025 17.00-18.00

L	A	B	C
A	0	162	581
B	459	0	139
C	1005	227	0

01/10/2025 7.00-8.00

CL	A	B	C
A	0	22	146
B	27	0	12
C	75	12	0

01/10/2025 17.00-18.00

CL	A	B	C
A	0	15	73
B	33	0	7
C	93	15	0

01/10/2025 7.00-8.00

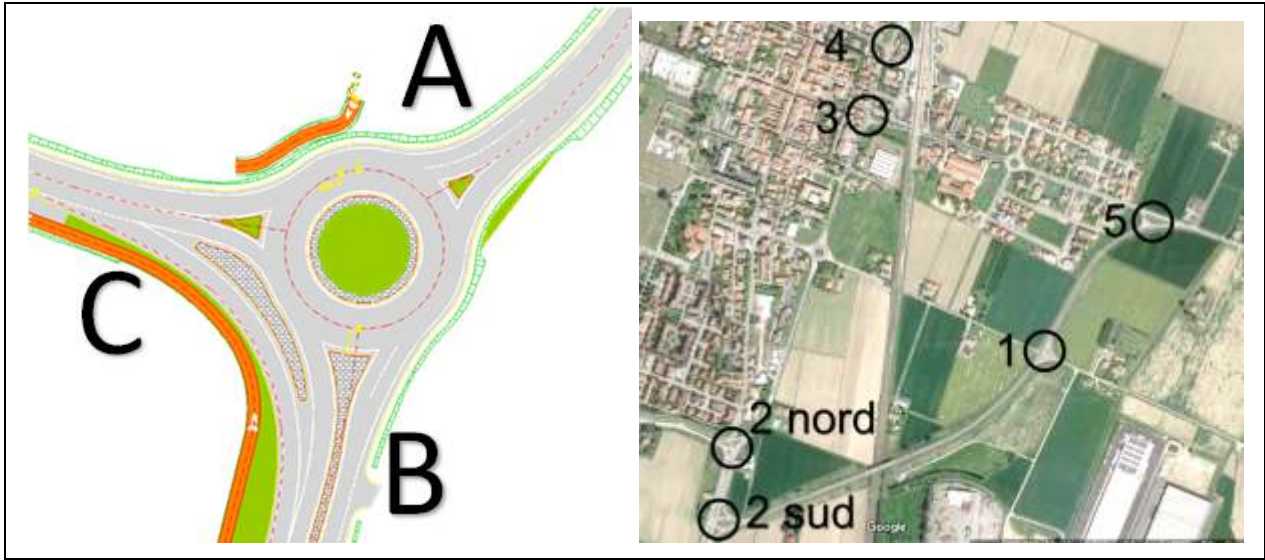
CP	A	B	C
A	0	6	24
B	10	0	0
C	17	2	0

01/10/2025 17.00-18.00

CP	A	B	C
A	0	4	12
B	9	0	1
C	13	3	0

RIORGANIZZAZIONE DELLA VIABILITÀ DI ADDUZIONE
ALL'ACCESSO NORD DELL'INTERPORTO DI BOLOGNA

Tabella 2-4. Intersezione 2 nord



01/10/2025 7.00-8.00

L	A	B	C
A	0	789	68
B	292	0	199
C	25	665	0

01/10/2025 17.00-18.00

L	A	B	C
A	0	356	61
B	827	0	634
C	34	381	0

01/10/2025 7.00-8.00

CL	A	B	C
A	0	86	12
B	57	0	43
C	11	75	0

01/10/2025 17.00-18.00

CL	A	B	C
A	0	47	12
B	72	0	59
C	6	41	0

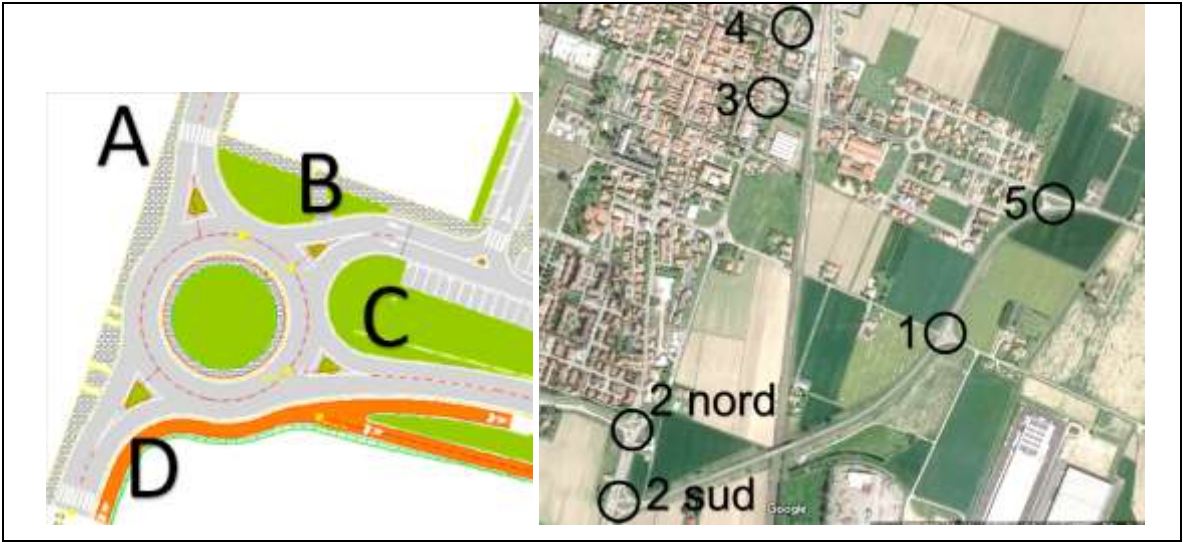
01/10/2025 7.00-8.00

CP	A	B	C
A	0	20	5
B	10	0	16
C	0	8	0

01/10/2025 17.00-18.00

CP	A	B	C
A	0	4	7
B	6	0	16
C	6	15	0

Tabella 2-5. Intersezione 3



01/10/2025 7.00-8.00

L	A	B	C	D
A	0	8	330	512
B	2	0	2	2
C	146	9	0	1
D	259	8	126	0

01/10/2025 17.00-18.00

L	A	B	C	D
A	178	2	178	275
B	8	0	9	8
C	358	2	0	0
D	500	1	55	0

01/10/2025 7.00-8.00

CL	A	B	C	D
A	0	0	28	82
B	0	0	0	0
C	15	0	0	0
D	63	0	12	0

01/10/2025 17.00-18.00

CL	A	B	C	D
A	0	0	19	43
B	0	0	0	0
C	20	0	0	0
D	53	0	7	0

01/10/2025 7.00-8.00

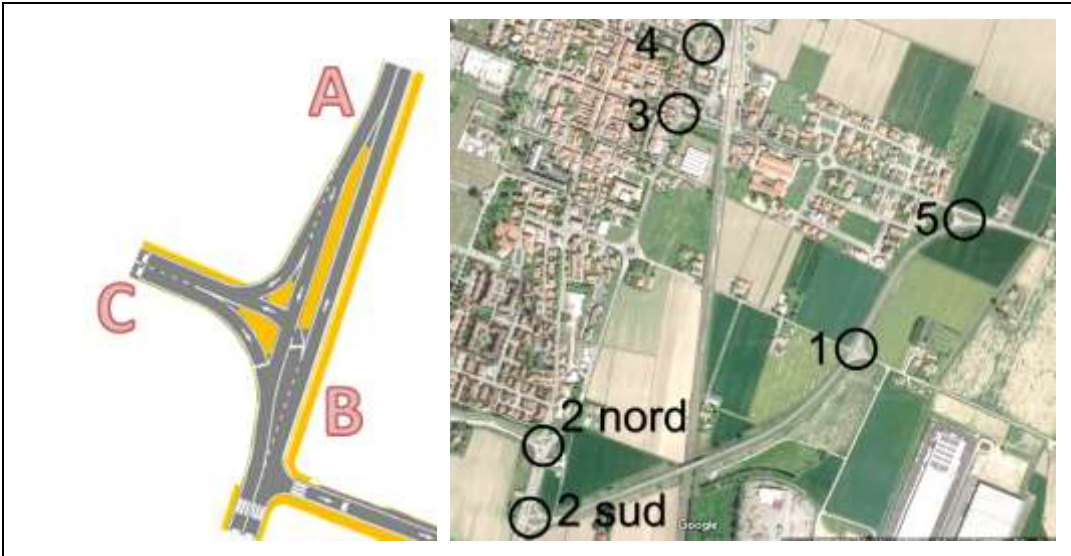
CP	A	B	C	D
A	0	0	0	25
B	0	0	0	0
C	1	0	0	0
D	10	0	1	0

01/10/2025 17.00-18.00

CP	A	B	C	D
A	0	0	0	11
B	0	0	0	0
C	0	0	0	0
D	9	0	0	0

RIORGANIZZAZIONE DELLA VIABILITÀ DI ADDUZIONE
ALL'ACCESSO NORD DELL'INTERPORTO DI BOLOGNA

Tabella 2-6. Intersezione 4



01/10/2025 7.00-8.00				
L	A	B	C	
A	0	766	1	
B	313	0	61	
C	0	74	0	

01/10/2025 17.00-18.00				
L	A	B	C	
A	0	389	16	
B	769	0	112	
C	0	78	0	

01/10/2025 7.00-8.00				
CL	A	B	C	
A	0	102	0	
B	64	0	7	
C	0	5	0	

01/10/2025 17.00-18.00				
CL	A	B	C	
A	0	60	0	
B	64	0	12	
C	0	3	0	

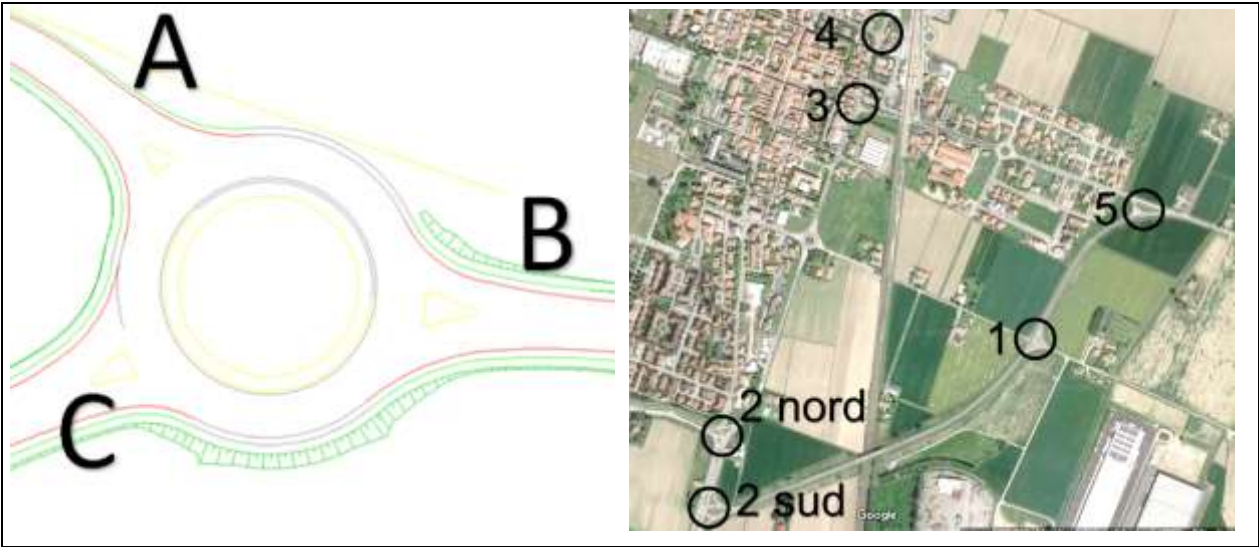
01/10/2025 7.00-8.00				
CP	A	B	C	
A	0	17	0	
B	5	0	2	
C	0	7	0	

01/10/2025 17.00-18.00				
CP	A	B	C	
A	0	11	0	
B	7	0	3	
C	0	1	0	

01/10/2025 7.00-8.00				
CL + CP	A	B	C	
A	0	119	0	
B	69	0	9	
C	0	12	0	

01/10/2025 17.00-18.00				
CL + CP	A	B	C	
A	0	71	0	
B	71	0	15	
C	0	4	0	

Tabella 2-7. Intersezione 5



01/10/2025 7.00-8.00				
L	A	B	C	
A	0	398	153	
B	134	0	301	
C	9	516	39	

01/10/2025 17.00-18.00				
L	A	B	C	
A	0	221	33	
B	280	0	449	
C	108	537	0	

01/10/2025 7.00-8.00				
CL	A	B	C	
A	0	38	2	
B	14	0	36	
C	2	55	0	

01/10/2025 17.00-18.00				
CL	A	B	C	
A	0	23	4	
B	22	0	38	
C	1	50	0	

01/10/2025 7.00-8.00				
CP	A	B	C	
A	0	1	0	
B	2	0	11	
C	5	2	0	

01/10/2025 17.00-18.00				
CP	A	B	C	
A	0	0	0	
B	1	0	11	
C	0	7	0	

2.1 Potenziali effetti derivanti dall'attuazione del progetto

2.1.1 Impatto delle attività di cantiere

L'allestimento del cantiere, nonché le attività di cantiere stesse, potranno incidere sulla fluidità del traffico e quindi comportare possibili rallentamenti, con conseguente intensificarsi delle emissioni, pertanto il transito dei mezzi di cantiere dovrà essere opportunamente gestito al fine di limitare i disagi alla viabilità pubblica.

L'organizzazione delle attività di cantiere dovrà essere integrata con misure di buona pratica, come la scelta dei percorsi migliori per raggiungere il cantiere, l'utilizzo di segnaletica idonea, la pianificazione degli accessi comandati anche elettronicamente, o lo studio delle fasce orarie migliori per i trasporti senza creare disagi sul traffico cittadino e nelle immediate vicinanze.

2.1.2 Impatto della fase di esercizio

La realizzazione degli interventi di razionalizzazione delle intersezioni lungo la S.P. 4 e la S.P. 44 avrà indubbiamente degli effetti positivi sulla componente mobilità in termini di:

- maggiore sicurezza rispetto alla soluzione ad incrocio ordinario;
- fluidificazione delle manovre, riducendo così al minimo i fenomeni di “fermata e ripartita” (stop and go), nonché le brusche accelerazioni e le repentine accelerazioni;
- moderazione della velocità.

Si riportano di seguito gli esiti delle verifiche effettuate nell'ambito dello studio sul traffico.

Metodi di verifica

Per le intersezioni a rotatoria in ambito extraurbano si è utilizzato il metodo francese SETRA (Service d'études technique des routes et autoroutes “The design of interurban intersections on major roads” Dicembre 1998): tale metodo consente di ottenere il livello di servizio rapportando il ritardo medio per veicolo [sec/veic] ai seguenti range proposti dall'Highway Capacity Manual ed. 2016 per le intersezioni regolate a precedenza.

Per le intersezioni a rotatoria in ambito urbano si è utilizzato il metodo CERTU (Centre d'Etudes sur les Reseaux des Transport, l'Urbanisme et les construction publique): tale metodo consente di ottenere la capacità residua di ogni ramo.

Per le intersezioni canalizzate a precedenza o STOP, la metodologia seguita è stata quella proposta dall'Highway Capacity Manual ed. 2016 che consente di ottenere il livello di servizio rapportando il ritardo medio per veicolo [sec/veic] ai seguenti range.

Tabella 2-8. Range livelli di servizio

Ritardo medio per veicolo	LOS Intersezioni a precedenza	Ritardo medio per veicolo	LOS Intersezioni a Stop
$D \leq 10$	A	$D \leq 15$	A
$10 > D \leq 15$	B	$15 > D \leq 20$	B
$15 > D \leq 25$	C	$20 > D \leq 30$	C
$25 > D \leq 35$	D	$30 > D \leq 40$	D
$35 > D \leq 50$	E	$40 > D \leq 55$	E
$D > 50$	F	$D > 55$	F

Risultanze della verifica

La seguente tabella riporta le risultanze ottenute dalla verifica funzionale delle intersezioni in progetto, che risultano verificate al 2025 sia per l'ora di punta mattutina che pomeridiana.

Tabella 2-9. Risultanze verifiche funzionali 2025

Nodo	LOS di Riferimento secondo il DM 2006	LOS verifica	Verifica soddisfatta SI / NO	LOS di Riferimento secondo il DM 2006	LOS verifica	Verifica soddisfatta SI / NO
<i>Fascia oraria</i>	<i>7:00-8:00</i>			<i>17:00-18:00</i>		
Intervento 1	C	A	SI	C	A	SI
Intervento 1 a T	C	A	SI	C	B	SI
Intervento 2 Sud	C	A	SI	C	C	SI
Intervento 2 Nord	C	B	SI	C	C	SI
Intervento 3	< capacità	< capacità	SI	< capacità	< capacità	SI
Intervento 4	< capacità	< capacità	SI	< capacità	< capacità	SI
Intervento 5	C	B	SI	C	B	SI

Lo studio sul traffico riporta le schede di verifica per ogni intervento, a cui si rimanda, ed evidenzia che tutte le verifiche funzionali sono risultate soddisfatte.

3 RUMORE

3.1 Introduzione

Le successive pagine costituiscono la Documentazione di impatto acustico prevista dalla normativa nazionale e regionale in riferimento al Progetto Definitivo relativo all'intervento di riorganizzazione della viabilità di adduzione all'accesso nord dell'interporto di Bologna in comune di San Giorgio di Piano (BO). L'aggiornamento si è reso necessario a seguito delle richieste di Integrazione da parte dell'ARPAE (Sinadoc 10161/2021) e della Regione Emilia Romagna (Allegato n.3 al Prot. n.23625 del 22/04/2021).

Lo studio è stato inoltre aggiornato a seguito delle evoluzioni dello studio di traffico, di cui il capitolo precedente rappresenta una sintesi e a cui si rimanda per tutti i relativi dettagli.

Il progetto in esame consiste nella sostituzione di 5 intersezioni mediante la realizzazione di un sistema di rotatorie; tali intersezioni si attestano lungo la S.P. 4 "Galliera" (interventi n°2, n°3 e n°4) e lungo la S.P. 44 "Bassa Bolognese" (interventi n°1 e n°5) come evidenziato nell'immagine seguente.

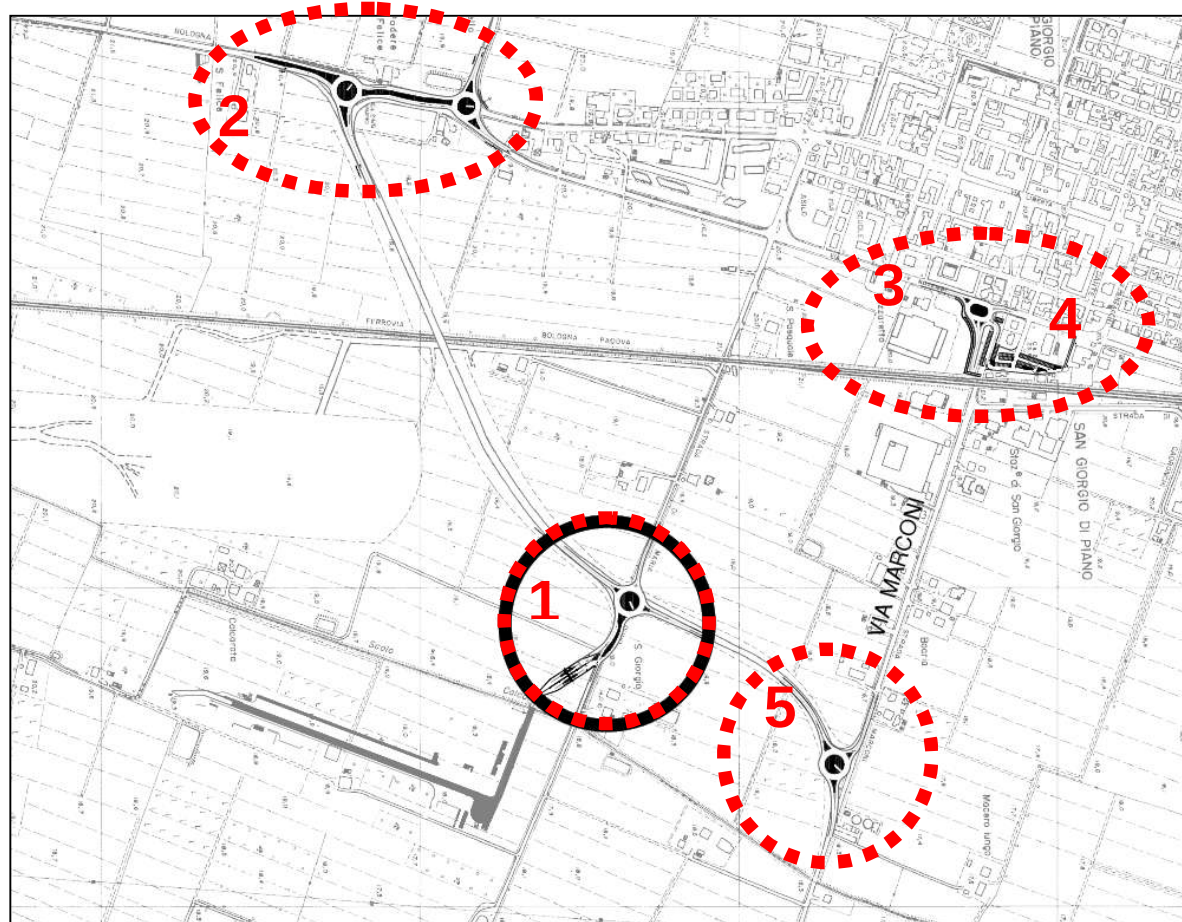


Figura 3-1. Corografia degli ambiti di intervento

Nel documento sono stati affrontati in modo sistematico il tema del rumore prodotto dai cantieri e quello relativo alla fase di esercizio delle infrastrutture in esame.

Per la redazione del presente documento sono state eseguite le seguenti attività:

- censimento dei ricettori presenti in una fascia di studio di circa 50m dal confine delle opere in progetto;
- l'analisi della situazione acustica dello stato attuale sulla base di rilevamenti fonometrici effettuati (Allegato 1). Tali rilevamenti sono stati utili per tarare il modello di calcolo di propagazione sonora utilizzando i dati di traffico rilevati negli stessi periodi delle rilevazioni fonometriche;
- La caratterizzazione acustica delle aree nella situazione attuale mediante modello previsionale tridimensionale utilizzando il software Soundplan, calibrato sulla base dei rilevamenti fonometrici di breve e lungo termine effettuati e dei dati di traffico rilevati negli stessi periodi delle rilevazioni fonometriche.
- La valutazione dei livelli di pressione sonora ai ricettori nell'anno 2025 considerando i flussi di traffico risultanti dall'apposito studio di traffico.
- La definizione degli eventuali interventi di mitigazione acustica nei casi di superamento dei limiti di riferimento in corrispondenza dei ricettori.
- La valutazioni di impatto acustico delle attività di cantiere.

Nello specifico, per il rumore di cantiere sono state considerate:

- la configurazione morfologica dei luoghi nello stato attuale e nella fase di cantiere,
- la presenza di ricettori potenzialmente disturbati,
- le sorgenti di rumore che si prevede siano presenti e operative nelle diverse situazioni di cantiere e le relative emissioni acustiche (singole per macchinario e complessive per area di cantiere),
- una sommaria articolazione per fasi con individuazione di quelle più significative per durata e rumorosità,
- gli accorgimenti e le misure di mitigazione che si prevede debbano essere applicate.

Al momento non è stato possibile indicare con precisione i periodi temporali nei quali si svolgeranno le lavorazioni considerate nello studio, pertanto per il cantiere è stata riportata solo un'indicazione dell'articolazione per fasi.

Sulla base degli elementi sopra elencati, con riferimento a precise schede di emissione delle sorgenti (singoli macchinari o scenari di emissione) che delineano sonogrammi riferiti a tempistiche di utilizzo e di contemporaneità definite come standard, sono stati calcolati i livelli in facciata dei ricettori esposti, i quali sono poi stati confrontati con i limiti derivanti normativi.

Sulla base di queste valutazioni sono state individuate le situazioni (aree di cantiere, ricettori, attività) per le quali è possibile anticipare che varrà richiesta un'autorizzazione in deroga ai limiti previsti dalla normativa.

Si precisa comunque che sarà compito dell'impresa appaltatrice dei lavori, in base alla propria organizzazione e ai tempi programmati, verificare la necessità di aggiornare la presente documentazione di impatto acustico per tutte le lavorazioni, nel rispetto delle specifiche normative e considerando il presente studio come base analitica e modellistica.

Suddette specifiche valutazioni dovranno dimostrare il rispetto dei limiti acustici ovvero supportare la richiesta di autorizzazione in deroga ai limiti acustici, nei casi in cui essa risulti necessaria.

In tali casi l'impresa dovrà comunicare agli Enti Competenti, con il dovuto anticipo, tutti gli elementi tecnici necessari ai fini di legge e per la completa contestualizzazione spaziale e temporale delle attività rumorose. In particolare si farà riferimento ai contenuti del presente documento evidenziando le modifiche eventualmente intercorse e i necessari correttivi alle stime di impatto e al dimensionamento delle eventuali misure di mitigazione, nonché specificando l'entità e la durata delle eventuali deroghe richieste.

3.2 Riferimenti normativi

I riferimenti legislativi relativi al rumore sono costituiti, in particolare, dalla legge quadro sull'inquinamento acustico e dai successivi regolamenti e decreti applicativi. Si riportano nel seguito i punti salienti delle normative inerenti le infrastrutture stradali.

Legge 26 ottobre 1995, n. 447 - Legge quadro sull'inquinamento acustico (Gazzetta Ufficiale n. 254 del 30 ottobre 1995)

- le infrastrutture di trasporto stradali vengono assimilate a sorgenti sonore fisse (art. 2, comma 1, punto c) e per esse vengono fissati, con apposito decreto attuativo, specifici valori limite di esposizione per gli ambienti abitativi disposti entro le fasce di pertinenza proprie dell'infrastruttura stessa (art. 2, comma 2);
- alle infrastrutture di trasporto non si applica il criterio del limite differenziale (art. 15, comma 1);
- per i servizi pubblici di trasporto essenziali (ferrovie, autostrade, aeroporti, ecc.) devono essere predisposti piani pluriennali di risanamento al fine di ridurre l'emissione di rumore (art. 3, comma 1, punto i);
- i progetti di nuove realizzazioni, modifica o potenziamento di autostrade, strade extraurbane principali e secondarie devono essere redatti in modo da comprendere una relazione tecnica sull'impatto acustico; tali attività sono obbligatorie nel caso vi sia la richiesta dei Comuni interessati (art. 8, comma 2) oltre che nei casi previsti dalla vigente legge n° 349 sulla valutazione dell'impatto ambientale; tali progetti dovranno essere strutturati secondo quanto prescritto dai regolamenti di esecuzione emanati dal Ministero dell'Ambiente (art. 11, comma 1).

Determinazione dei valori limite delle sorgenti sonore (Gazzetta Ufficiale n. 280 del 1 dicembre 1997)

- per le infrastrutture stradali vengono fissati fasce di pertinenza acustica e specifici limiti; per i ricettori posti all'interno di tali fasce non valgono i limiti della zonizzazione acustica adottata dai comuni. Al di fuori delle fasce di competenza, il rumore del traffico autostradale deve rispettare i valori di zonizzazione. In ogni caso occorre sempre tener conto di tutte le sorgenti di rumore che possono interessare i ricettori in esame.

Decreto Ministero Ambiente 29 novembre 2000 – “Criteri per la predisposizione, da parte delle società e degli enti gestori dei servizi pubblici di trasporto o delle relative infrastrutture, dei piani degli interventi di contenimento e abbattimento del rumore”(Gazzetta Ufficiale n. 285 del 6 dicembre 2000)

- viene fissato il termine entro cui (art. 2, comma 2, punto b2) l'Ente proprietario o gestore dell'autostrada deve predisporre il piano di risanamento acustico della propria infrastruttura; in tale piano devono essere specificati costi, priorità e modalità di intervento (barriere, pavimentazioni, eventuali interventi effettuati sui singoli ricettori, ecc.), nonché tempistiche di attuazione (art. 2, comma 4). Viene altresì fissato il periodo entro cui devono essere completate le opere di risanamento, ovvero 15 anni dalla data di presentazione del piano a Regioni, Comuni e Ministero dell'Ambiente (art. 2, comma 2, punto b3);
- vengono fissati i criteri in base ai quali calcolare la priorità degli interventi, prendendo cioè in considerazione il numero di ricettori esposti e la differenza fra livelli attuali di rumore e limiti ammissibili (allegato 1);
- vengono fissati i criteri di progettazione acustica degli interventi, individuando i requisiti dei modelli previsionali utilizzabili per la simulazione acustica ed il calcolo delle barriere; vengono anche fornite indicazioni sui criteri di progettazione strutturale (allegato 2);
- vengono riportati i criteri per la qualificazione dei materiali e la conformità dei prodotti, facendo principalmente riferimento alle recenti norme europee sulle barriere antirumore per impieghi stradali, ovvero UNI-EN 1793 e UNI-EN 1794 (allegato 4);
- vengono riportati i criteri secondo cui valutare la concorsualità di più sorgenti, in modo da garantire ai ricettori esposti il raggiungimento dei valori considerati come ammissibili, anche in presenza di ulteriori fonti di rumore in aggiunta all'infrastruttura autostradale (allegato 4).

Decreto del Presidente della Repubblica 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 legge 26 ottobre 1995, n. 447. (GU n.127 del 1 giugno 2004).

Questo Decreto completa lo scenario legislativo in merito al rumore viario in quanto fissa i limiti a seconda della tipologia di infrastruttura stradale ed in funzione di fasce di pertinenza. All'interno di queste ultime non si deve tenere conto delle zonizzazioni

RIORGANIZZAZIONE DELLA VIABILITÀ DI ADDUZIONE ALL'ACCESSO NORD DELL'INTERPORTO DI BOLOGNA

acustiche comunali. In particolare le infrastrutture stradali sono definite dall'articolo 2 del decreto legislativo n. 285 del 1992 e successive modificazioni e vengono suddivise in:

- A. autostrade;
- B. strade extraurbane principali;
- C. strade extraurbane secondarie;
- D. strade urbane di scorrimento;
- E. strade urbane di quartiere;
- F. strade locali.

L'Art. 1 "Definizioni", puntualizza il significato di alcuni termini "chiave":

- Infrastruttura stradale esistente: quella effettivamente in esercizio o in corso di realizzazione o per la quale è stato approvato il progetto definitivo alla data di entrata in vigore del decreto.
- Infrastruttura stradale di nuova realizzazione: quella in fase di progettazione alla data di entrata in vigore del decreto o comunque non ricadente nella definizione precedente.
- Ampliamento in sede di infrastruttura stradale in esercizio: la costruzione di una o più corsie in affiancamento a quelle esistenti, ove destinate al traffico veicolare.
- Confine stradale: limite della proprietà stradale quale risulta dagli atti di acquisizione o dalle fasce di esproprio del progetto approvato (in mancanza delle precedenti informazioni il confine è costituito dal ciglio esterno del fosso di guardia o della cunetta, o dal piede della scarpata se la strada è in rilevato o dal ciglio superiore della scarpata se la strada è in trincea).
- Fascia di pertinenza acustica: striscia di terreno misurata in proiezione orizzontale per ciascuna lato dell'infrastruttura a partire dal confine stradale (di dimensione variabile in relazione al tipo di infrastruttura e compresa tra un massimo di 250 m e un minimo di 30 m). Il corridoio progettuale, nel caso di nuove infrastrutture ha una estensione doppia della fascia di pertinenza acustica (500 m per le autostrade).
- Ambiente abitativo: ogni ambiente interno ad un edificio destinato alla permanenza delle persone o comunità ed utilizzato per le diverse attività umane, fatta eccezione per gli ambienti destinati ad attività produttive per i quali resta ferma la disciplina di cui al D.L. 277/1991.
- Ricettore: qualsiasi edificio adibito ad ambiente abitativo comprese le relative aree esterne di pertinenza, o ad attività lavorativa o ricreativa, aree naturalistiche vincolate, parchi pubblici, ecc.

I valori limite di immissione stabiliti dal Decreto sono verificati in corrispondenza dei punti di maggiore esposizione e devono essere riferiti al solo rumore prodotto dalle infrastrutture stradali.

I limiti di immissione sia per infrastrutture stradali esistenti che per gli interventi di nuova realizzazione, sono definiti nelle tabelle riportate nel seguito.

Tabella 3-1. Infrastrutture stradali esistenti e assimilabili (ampliamenti in sede, affiancamenti e varianti)

TIPO DI STRADA (da Codice della Strada)	SOTTOTIPI A FINI ACUSTICI	Ampiezza fascia di pertinenza acustica [m]	Scuole, ospedali, case di cura e di riposo (*)		ALTRI RICETTORI	
			Diurno dBA	Notturmo dBA	Diurno dBA	Notturmo dBA
A - autostrada		100 (fascia A)	50	40	70	60
		150 (fascia B)			65	55
B – extraurbana principale		100 (fascia A)	50	40	70	60
		150 (fascia B)			65	55
C – extraurbana secondaria	Ca (strade a carr. separate e tipo IV CNR 1980)	100 (fascia A)	50	40	70	60
		150 (fascia B)			65	55
	Cb (tutte le altre extraurbane secondarie)	100 (fascia A)	50	40	70	60
		50 (fascia B)			65	55
D – urbana di scorrimento	Da (strade a carr. separate e interquartiere)	100	50	40	70	60
	Db (tutte le altre strade urbane di scorrimento)	100	50	40	65	55
E – urbane di quartiere		30	Definiti dai comuni, nel rispetto dei valori riportati in tabella C allegata al DPCM del 14.11.1997 e comunque in modo conforme alla zonizzazione acustica delle aree urbane, come prevista dall'art.6 comma 1 lett.a) della L.447/1995			
F – locale		30				

(*) Per le scuole vale il solo limite diurno

Tabella 3-2. Infrastrutture stradali di nuova realizzazione

TIPO DI STRADA (da Codice della Strada)	SOTTOTIPI A FINI ACUSTICI	Ampiezza fascia di pertinenza acustica [m]	Scuole, ospedali, case di cura e di riposo (*)		ALTRI RICETTORI	
			Diurno dBA	Notturmo dBA	Diurno dBA	Notturmo dBA
A - autostrada		250	50	40	65	55
B - extraurbana principale		250	50	40	65	55
C – Extraurbana secondaria	C1	250	50	40	65	55
	C2	150	50	40	65	55
D – urbana di scorrimento		100	50	40	65	55
E – urbane di quartiere		30	Definiti dai comuni, nel rispetto dei valori riportati in tabella C allegata al DPCM del 14.11.1997 e comunque in modo conforme alla zonizzazione acustica delle aree urbane, come prevista dall'articolo 6 comma 1 lettera a) della Legge n. 447 del 1995			
F – locale		30				
(*) Per le scuole vale il solo limite diurno						

Qualora i valori indicati nelle tabelle e, al di fuori della fascia di pertinenza, i valori stabiliti nella tabella C del Decreto PCM del 14.11.1997 (limiti delle classi acustiche) non siano

tecnicamente raggiungibili, ovvero qualora in base a valutazioni tecniche, economiche, o a carattere ambientale, si evidenzi l'opportunità di procedere ad interventi diretti sui ricettori, deve essere assicurato il rispetto dei seguenti limiti in ambiente abitativo a finestre chiuse:

- 35 dBA Leq notturno per ospedali, case di cura e di riposo;
- 40 dBA Leq notturno per tutti gli altri ricettori;
- 45 dBA diurno per le scuole.

Oltre alla normativa inerente alle infrastrutture stradali si cita il D.P.C.M. 1 marzo 1991 “*Limiti massimi di esposizione al rumore negli ambienti abitativi e nell'ambiente esterno*”. Il DPCM in esame è stato il primo strumento tecnico che ha espresso limiti precisi e chiari per quanto riguarda le emissioni sonore provenienti da sorgenti fisse. Il Decreto, oggi parzialmente abrogato, **viene ancora preso a riferimento nel caso in cui i comuni non abbiano ancora adottato il Piano di Classificazione Acustica**.

Nel caso infatti in cui il comune non sia dotato del Piano di Classificazione Acustica, al di fuori delle fasce di pertinenza si applicano i seguenti limiti di accettabilità $L_{Aeq, TR}$ (art. 8, comma 1 D.P.C.M. 14/11/97 e art. 6 del D.P.C.M. 01/03/91).

Tipo Area (P.R.G.C.)	Periodo diurno (06 - 22) [dB(A)]	Periodo notturno (22 - 06) [dB(A)]
Tutto il territorio nazionale	70	60
Zona A (D.M. n. 1444/68)	65	55
Zona B (D.M. n. 1444/68)	60	50
Zona esclusivamente industriale	70	70

3.3 Piano di Classificazione Acustica del Territorio Comunale di San Giorgio di Piano

Il comune di San Giorgio di Piano, con Deliberazione C.C. n. 42 del 14/05/2015, ha approvato la Variante n. 1/2014 al Piano Strutturale Comunale ai sensi dell'art. 32 della L.r. 20/2000 e s.m.i. e Classificazione Acustica del territorio comunale.

In applicazione dell'art 6 della Legge n. 447 del 26/10/1995 “*Legge quadro sull'inquinamento acustico*” il Comune ha provveduto alla suddivisione del territorio in zone omogenee nelle sei classi acustiche previste dalla tabella A dell'allegato al D.P.C.M. 14.11.1997 “*Determinazione dei valori limite delle sorgenti sonore*”.

Tabella 3-3: Valori limite assoluti di emissione²

CLASSIFICAZIONE DEL TERRITORIO		VALORI LIMITE DI EMISSIONE (dBA)	
		Periodo diurno	Periodo notturno
Classe I	Aree particolarmente protette	45	35
Classe II	Aree prevalentemente residenziali	50	40
Classe III	Aree di tipo misto	55	45
Classe IV	Aree di intensa attività umana	60	50
Classe V	Aree prevalentemente industriali	65	55
Classe VI	Aree esclusivamente industriali	65	65

Tabella 3-4: Valori limite assoluti di immissione³

CLASSIFICAZIONE DEL TERRITORIO		VALORI LIMITE DI IMMISSIONE (dBA)	
		Periodo diurno	Periodo notturno
Classe I	Aree particolarmente protette	50	40
Classe II	Aree prevalentemente residenziali	55	45
Classe III	Aree di tipo misto	60	50
Classe IV	Aree di intensa attività umana	65	55
Classe V	Aree prevalentemente industriali	70	60
Classe VI	Aree esclusivamente industriali	70	70

La cartografia di classificazione individua le aree e le relative classi acustiche con i colori e le campiture definiti dall'allegato 1 della direttiva regionale n.2053/01. In particolare le campiture piene si riferiscono allo “stato di fatto” e le campiture rigate allo “stato di progetto” secondo la destinazione urbanistica di PSC.

A tutte le aree prospicienti le infrastrutture di trasporto, riconducibili alle strade di classe C di cui al comma 2, art. 2 del D.Lgs. 285/92 in base al punto 4.1.1. (viabilità esistenti) e 4.1.2, (viabilità di progetto), nonché alla ferrovia, è stata assegnata la classe IV, con una profondità di mt 50 per lato.

Tali strade sono così identificate:

- S. P. n° 4 Galliera (interessata dagli interventi nn. 2, 3 e 4)
- S.P. n° 44 Bassa Bolognese (interessata dagli interventi nn. 1, 2 e 5);
- Nuova strada prevista in PRG quale circonvallazione del Capoluogo e relativo raccordo con l'attuale S.P. Galliera a nord di S. Giorgio di Piano;
- S.P. n° 42 Centese (interessata dall'intervento n. 2) e relativo tratto in previsione;
- S.P. n° 11 S. Benedetto;
- Strade comunali via Selvatico, via di Argelato e via Codini quale collegamento fra gli abitati di S. Giorgio di Piano ed Argelato;
- Nuovo tratto stradale di previsione in PRG a margine del “Mercatone”, di futuro collegamento fra la via Galliera ed il centro di Argelato.

² Per valori limite di emissione si intende il valore massimo di rumore che può essere emesso da una sorgente sonora, misurato in prossimità della sorgente stessa

³ Per valori limite di immissione si intende il valore massimo di rumore che può essere immesso da una o più sorgenti sonore nell'ambiente abitativo o nell'ambiente esterno, misurato in prossimità dei ricettori

RIORGANIZZAZIONE DELLA VIABILITÀ DI ADDUZIONE ALL'ACCESSO NORD DELL'INTERPORTO DI BOLOGNA

La zona ferroviaria (linea Bologna-Venezia) è stata considerata in classe IV per tutta la superficie individuata in PRG. Viene ricompresa in classe IV anche la fascia di pertinenza dei primi 50 m per lato in conformità alla Delibera della G.R. 2053/01. L'area ferroviaria in questione risulta vincolata dal D.P.R. 18/11/1998 n°459 "Regolamento recante norme di esecuzione dell'art. 11 della legge 26 ottobre 1995 n. 447, in materia di inquinamento acustico derivante da traffico ferroviario" che stabilisce le norme per la prevenzione e l'inquinamento da infrastrutture ferroviarie. Ai sensi dell'art. 3 del DPR citato, è stata individuata in cartografia la fascia di pertinenza di mt 250 dalla ferrovia stessa suddivisa a sua volta nella fascia A pari a mt. 100 e nella fascia B pari a mt. 150.

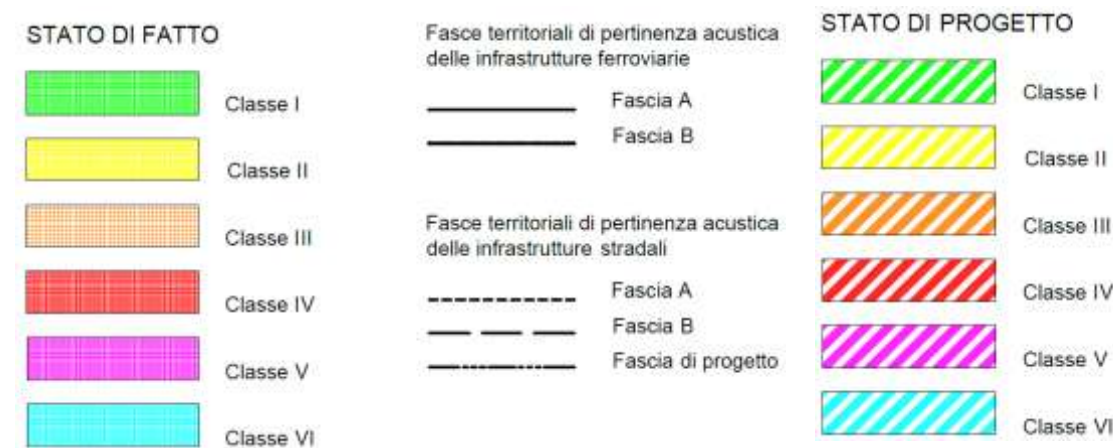
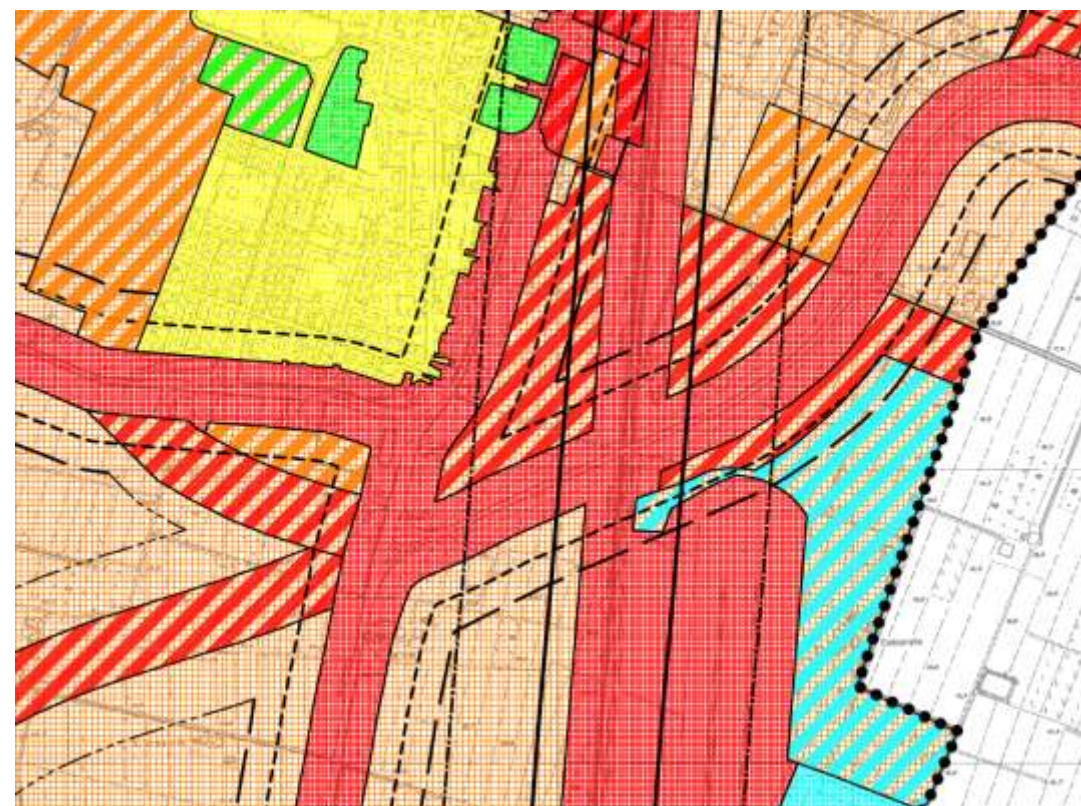


Figura 3-2. Estratto Tav.2 – Zonizzazione Acustica, Aggiornamento Classificazione Acustica Comunale

Ai sensi dell'art. 1.4.1 "Infrastrutture stradali" delle Norme Tecniche di Attuazione del Piano di Classificazione Acustica:

"Il rumore generato dalle infrastrutture stradali all'interno delle fasce di pertinenza di cui al DPR 30/3/2004 n° 142 (Disposizioni per il contenimento e la prevenzione dell'inquinamento acustico derivante dal traffico veicolare, a norma dell'articolo 11 della legge 26 ottobre 1995 n° 447) non concorre alla determinazione dei valori di immissione di cui alla tabella C del DPCM 14/11/97 (Determinazione dei valori limite delle sorgenti sonore).

Alle infrastrutture stradali non si applica il disposto degli articoli 2 (valori limite di emissione), 6 (valori di attenzione) e 7 (Valori di qualità) del DPCM 14/11/1997.

All'esterno di tali fasce di pertinenza il rumore emesso dalle infrastrutture stradali concorre alla determinazione del livello sonoro ambientale soggetto al rispetto dei valori limite individuati dalla zonizzazione acustica.

Per le infrastrutture stradali esistenti e di nuova realizzazione i valori limite di immissione di rumore derivante dal traffico veicolare sono quelli stabiliti dalle tabelle 1 e 2 dell'allegato 1 del DPR 142/2004, [...], secondo il tipo di strada (classificazione), l'ampiezza della relativa fascia di pertinenza e la caratteristica dei ricettori; tale rappresentazione tiene conto della classificazione delle strade di cui all'art. 20, paragrafo 1) lettere a) e b) delle NTA del PSC, effettuata ai sensi dell'art. 2 del D.Lgs 285/92 (C.d.S.) ed in base a quanto previsto dall'art. 12 delle NTA del PTCP.

A tal fine sono indicate cartograficamente le fasce di pertinenza acustica delle infrastrutture stradali secondo le indicazioni del DPR n° 142 del 30/03/2004.

Le strade esistenti classificate ai fini acustici come extraurbane secondarie (tipo Cb), all'interno dei centri urbani assumono il rango di strade urbane di scorrimento (tipo Db).

Conseguentemente la fascia "A", di profondità mt 100, assume valori limite pari a 70 dB(A) di giorno e 60 dB(A) di notte all'esterno del centro abitato, mentre la medesima fascia, di profondità pari a mt 100, nell'ambito dei centri urbani assume valori limite pari a 65 dB(A) di giorno e 55 dB(A) di notte".

Le norme del Piano di Classificazione Acustica disciplinano all'art. 1.4.6 "Attività temporanee" le attività di cantiere. Ai sensi dell'articolo sopra citato "Le attività temporanee sono disciplinate dalla D.G.R. 21/01/2002, n 45 "Criteri per il rilascio delle autorizzazioni in deroga per particolari attività ai sensi dell'art. 11, comma 1 della L.R. 9/05/01, n. 15 recante "Disposizioni in materia di inquinamento acustico" (art. 6, comma 1, lett. h) L. 447/95).

Il Comune può rilasciare le autorizzazioni in deroga ai limiti di zona per lo svolgimento di attività temporanee e di manifestazioni in luogo pubblico o aperto al pubblico e per spettacoli a carattere temporaneo ovvero mobile, nel rispetto delle prescrizioni eventualmente indicate dal comune stesso in base alla specifica attività svolta, sentiti il parere dell'AUSL e dell'ARPA.

Si definisce attività temporanea qualsiasi attività che si esaurisca in un periodo di tempo limitato e/o si svolga in modo non permanente nello stesso sito.

Rientrano in tale categoria:

- cantieri edili, stradali ed assimilabili
- attività agricole
- manifestazioni in luogo pubblico o aperto al pubblico: concerti, spettacoli, feste popolari, luna park, manifestazioni sportive ed assimilabili.
- particolari sorgenti sonore: macchine da giardino, altoparlanti, cannoncini antistorno, cannoni ad onde d'urto per la difesa antigrandine ed assimilabili.

Sono escluse le fonti di rumore arrecanti disturbo alle occupazioni e al riposo delle persone, quali schiamazzi e strepiti di animali cui provvede il 1° comma dell'art. 659 del C.P.

Salvo eventuali prescrizioni particolari indicate dal Comune, dall'AUSL o dall'ARPA nel provvedimento di autorizzazione, dovrà essere rispettata la seguente disciplina:

Cantieri edili, stradali ed assimilabili: in caso di attivazione di cantieri, le macchine e gli impianti in uso dovranno essere conformi alla marcatura CEE recepita dalla normativa nazionale. Le lavorazioni, nel caso di cantieri edili, stradali ed assimilabili potranno essere svolte di norma tutti i giorni feriali dalle ore 07.00 alle ore 20.00. Nel caso di lavorazioni o di uso di attrezzature rumorose dovranno essere attivati tutti gli accorgimenti tecnici necessari a rendere meno rumoroso il loro uso. Gli avvisatori acustici potranno essere utilizzati solo se non sostituibili con altri di tipo luminoso e nel rispetto delle vigenti norme antinfortunistiche.

L'attivazione di macchine e l'esecuzione di lavori rumorosi possono di norma essere effettuate nei giorni feriali, dalle ore 8.00 alle ore 13.00 e dalle ore 15.00 alle ore 19.00

Durante gli orari di cui sopra è consentito l'uso di macchine rumorose qualora non venga superato il limite di 70.0 dB LAeq rilevato per un tempo di misura non inferiore a 10 minuti in facciata ad edifici residenziali. Ai cantieri per opere di ristrutturazione o manutenzione straordinaria di fabbricati si applica il limite di 65.0 db LAeq rilevato per un tempo di misura non inferiore a 10 minuti all'interno dell'ambiente abitativo con finestre chiuse.

Restano esclusi i cantieri edili e/o stradali da attivarsi per il ripristino urgente dell'erogazione di servizi pubblici (linee telefoniche ed elettriche, condotte fognarie, acqua potabile, gas ecc.).

Lo svolgimento nel territorio comunale delle attività di cantiere nel rispetto dei limiti di orario e di rumore di cui sopra necessita di autorizzazione da richiedere al Comune o allo sportello unico almeno 20 giorni prima dell'inizio dell'attività. La domanda deve essere corredata della documentazione di cui all'All. 1 della D.G.R. n. 45 del 21/01/2002.

Le attività di cantiere per, per motivi eccezionali, contingenti e documentabili, non siano in condizione di garantire il rispetto dei limiti di rumore di cui sopra possono richiedere specifica deroga. A tal fine va presentata domanda al Comune o allo sportello unico, con le modalità previste all'All. 2 della D.G.R. n. 45 del 21/01/2002, corredata della documentazione tecnica redatta da un tecnico competente in acustica ambientale.

Le istanze per l'autorizzazione di cui ai punti precedenti possono essere presentate contestualmente alla richiesta di permesso di costruire o denuncia di inizio attività, con relazione tecnica di impatto acustico.

[...]"

Applicando le indicazioni normative all'intervento in progetto ne deriva che le intersezioni oggetto di modifica si attestano lungo strade con le seguenti caratteristiche:

- interventi nn. 3 e 4 lungo la S.P. 4 "Galliera", classificabile nel tratto come strada di categoria D e quindi dotata di una fascia di pertinenza acustica di 100 m (limite diurno 70 dBA e notturno 60 dBA).
- intervento 2 lungo la S.P. 4 "Galliera", classificabile nel tratto come strada di categoria extraurbana secondaria Cb e quindi dotata di una fascia A di 100m (limite diurno 70 dBA e notturno 60 dBA) e ed un successiva fascia B di ulteriori 150 m (limite diurno 65 dBA e notturno 55 dBA)
- interventi nn. 1 e 5 lungo la S.P. 44 "Bassa Bolognese", classificabile nel tratto come strada di categoria extraurbana secondaria Cb e quindi dotata di una fascia A di 100m (limite diurno 70 dBA e notturno 60 dBA) e ed un successiva fascia B di ulteriori 150 m (limite diurno 65 dBA e notturno 55 dBA)

3.4 Clima acustico attuale e monitoraggio acustico ante-operam

Al fine di caratterizzare il clima acustico presente nell'area, nel mese di febbraio 2020 è stata effettuata una campagna di monitoraggio in 5 punti di misura, di cui due di durata giornaliera e i restanti di durata settimanale.

In **Tabella 3-5** sono elencate le postazioni di monitoraggio in cui sono state effettuate le misure e i relativi risultati. Per i dettagli delle misure si rimanda al relativo allegato1.

Tabella 3-5 – Postazioni di monitoraggio

Campagna di misure febbraio 2020				
Postazione	Durata indagine	Scopo	Leq medio periodo diurno [dB(a)]	Leq medio periodo notturno [dB(a)]
PC01	Giornaliera	Caratterizzazione linea ferroviaria	67	61,2
PC02	Giornaliera	Caratterizzazione SP4	65,5	58,9
PS01	Settimanale	Indagine Ante operam	60	56,6
PS03	Settimanale	Indagine Ante operam	52,9	47,2
PS04	Settimanale	Indagine Ante operam	56	49,7

Per l'esecuzione delle misure è stata impiegata strumentazione conforme ai requisiti previsti dal Decreto 16 marzo 1998 "Tecniche di rilevamento e di misurazione dell'inquinamento acustico"; la catena di misura è composta da:

- Fonometro di classe 1 conforme a: IEC-601272 2002-1 Classe 1, IEC-60651 2001 Tipo 1, IEC-60804 2000-10 Tipo 1, IEC-61252 2002, IEC61260 1995 Classe 0, ANSI S1.4

1093 e S1.43 1997 Tipo 1, ANSI S1.11 2004, Direttiva 2002/96/CE, WEEE e Direttiva 2002/95/CE, RoHS

- Filtri in 1/1 e 1/3 d'ottava in real-time conformi alla norma EN 61260 classe 0 e CEI 29-4;
- Microfono a condensatore da ½ pollice a campo libero, di classe 1 secondo le norme CEI EN 60651, CEI EN 60804, CEI EN61094-5;
- Calibratore di classe 1, conforme alla norma CEI 29-4;
- Cavo microfonico di prolunga (5 m) e schermo antivento;

Tutta la strumentazione utilizzata è stata tarata in un centro SIT da meno di due anni ed è corredata da certificati di taratura.

Per valutare la conformità delle condizioni meteorologiche secondo D.M 16 marzo 1998, sono stati raccolti i dati dalle principali stazioni meteo distribuite lungo l'area di studio; le time history di pioggia, temperatura e velocità del vento sono allegate al termine di ogni scheda di misura di lunga durata.

Le misure sono state effettuate con intervallo di integrazione pari a 1'.

Gli indicatori acustici diretti rilevati sono i seguenti:

- time history, intervallo di integrazione 1";
- livello equivalente continuo (Leq);
- livello massimo (Lmax), livello minimo (Lmin);
- livelli statistici percentili L1, L5, L10, L50, L90, L95, L99.

Nell'Allegato 1 sono riportate le schede di dettaglio dei rilievi effettuati.

3.4.1 Modello previsionale Soundplan

Per la simulazione del rumore generato dal traffico stradale è stato utilizzato il modello previsionale SoundPLAN versione 8. Il modello messo a punto tiene in considerazione le caratteristiche geometriche e morfologiche del territorio e dell'edificio presente nell'area di studio, la tipologia delle superfici e della pavimentazione stradale, i traffici ed i relativi livelli sonori indotti, la presenza di schermi naturali alla propagazione del rumore, quale ad esempio lo stesso corpo stradale.

I calcoli sono stati svolti utilizzando il metodo del ray-tracing e sono basati sugli algoritmi e sui valori tabellari contenuti nel metodo di calcolo ufficiale francese NMPB-Routes-96.

La procedura di simulazione è la parte centrale e più delicata dello studio acustico, presentandosi la necessità di gestire informazioni provenienti da fonti diverse e di estendere temporalmente ad uno scenario di lungo periodo i risultati di calcolo. È stato pertanto necessario:

- realizzare un modello vettoriale tridimensionale del territorio "DTM Digital Terrain Model" esteso a tutto l'ambito di studio del tracciato autostradale in progetto;

- realizzare un modello vettoriale tridimensionale dell'edificio "DBM Digital Building Model", che comprende tutti i fabbricati indipendentemente dalla loro destinazione d'uso;
- definire gli effetti meteorologici sulla propagazione del rumore;
- definire i coefficienti di assorbimento per il terreno e gli edifici;
- definire i dati di traffico di progetto da assegnare alle linee di emissione.

In particolare il modello geometrico 3D finale contiene:

- morfologia del territorio;
- tutti i fabbricati di qualsiasi destinazione d'uso, sia quelli considerati ricettori sia quelli considerati in termini di ostacolo alla propagazione del rumore;
- altri eventuali ostacoli significativi per la propagazione del rumore;
- cigli marginali delle infrastrutture stradali in progetto, inclusi gli svincoli, e delle opere connesse esistenti, in variante o di nuova realizzazione.

Per una migliore gestione dei dati di ingresso e di uscita dal modello di calcolo Soundplan sono stati definiti e utilizzati dei protocolli di interscambio dati con un GIS ("Geographical Information System").

3.4.2 Modelli previsionali

Il metodo di calcolo NMPB-96 è raccomandato dal Decreto Legge 194, in attuazione alla direttiva 2002/49/CE relativa alla determinazione e alla gestione del rumore ambientale. La legislazione nazionale italiana ribadisce quanto affermato dal testo redatto dalla Commissione della comunità europea e pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale dell'Unione Europea in data 22/08/2003 in merito alle linee guida relative ai metodi di calcolo.

Per il rumore da traffico veicolare viene raccomandato il metodo di calcolo ufficiale francese «NMPB-Routes-96 (SETRA-CERTU-LCPC-CSTB)», citato in «Arreté du 5 mai 1995 relatif au bruit des infrastructures routieres, Journal Officiel du 10 mai 1995, article 6» e nella norma francese « XPS 31-133». Nella linea guida il metodo è denominato « XPS 31-133».

Il metodo di calcolo provvisorio è raccomandato per gli Stati membri che non dispongono di un metodo nazionale di calcolo e per quelli che desiderano cambiare il metodo di calcolo.

In NMPB il calcolo dell'emissione si basa sul livello di potenza sonora del singolo veicolo, che implica pertanto la suddivisione della sorgente stradale in singole sorgenti di rumore assimilate a sorgenti puntiformi.

Il livello di potenza sonora è ricavato a partire da un normogramma (**Figura 3-3**), che riporta il livello equivalente orario all'isofonica di riferimento dovuto a un singolo veicolo in funzione della velocità del veicolo per differenti categorie di veicoli, classi di gradiente e caratteristiche del traffico.

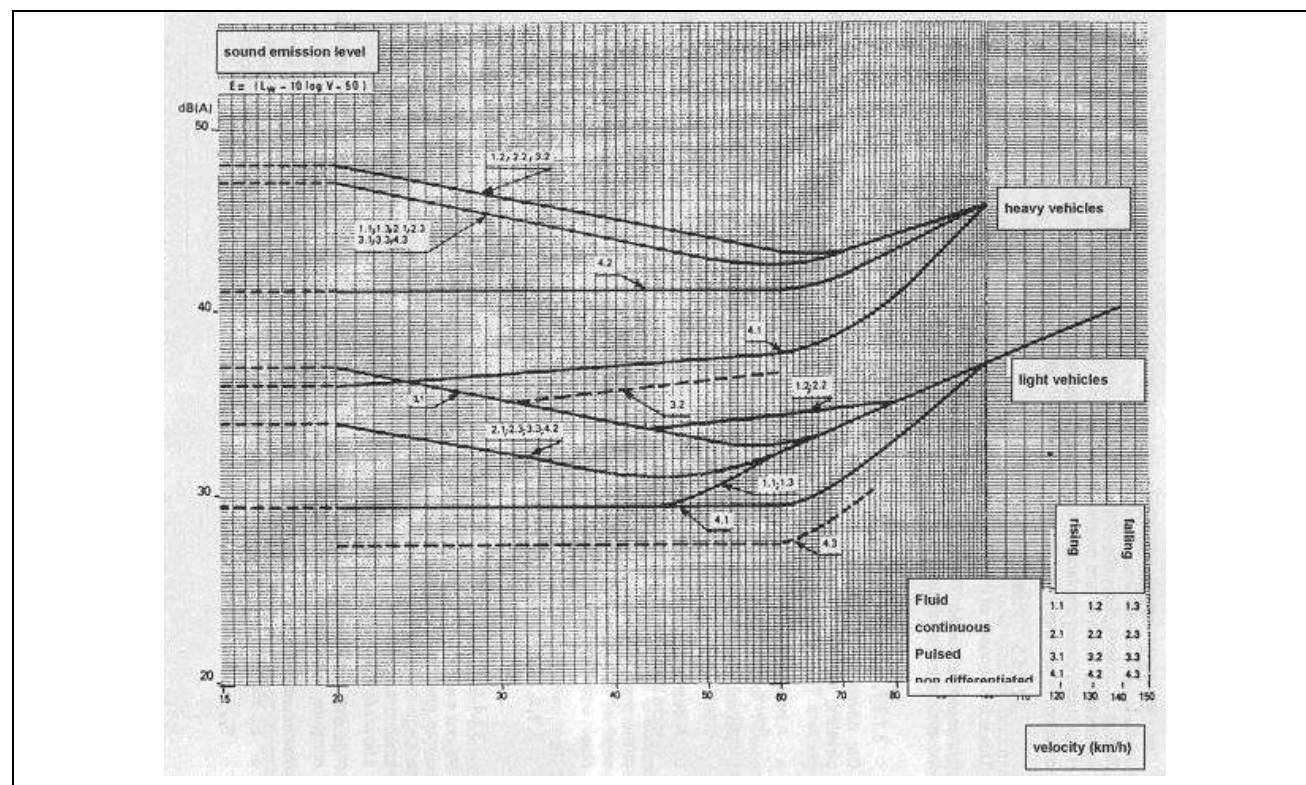


Figura 3-3 – Normogramma NMPB

Il livello di potenza sonora corretto in funzione del numero di veicoli leggeri e di veicoli pesanti nel periodo di riferimento e della lunghezza della sorgente stradale viene a sua volta scomposto in bande di ottava in accordo alla norma EN 1793-3:1997. Da considerare inoltre che:

- la sorgente viene localizzata a 0.5 m di altezza dal piano stradale. La distanza di riferimento del livello di emissione è a 30 m dal ciglio stradale ad un'altezza di 10 m;
- il livello di emissione diminuisce con la velocità su valori bassi di transito, rimane costante per velocità medie e aumenta per velocità alte;
- le categorie di veicoli prese in considerazione sono due: veicoli leggeri (GVM fino a 3.5 tonnellate) e veicoli pesanti (GVM superiore a 3.5 tonnellate);
- non sono previsti valori di volumi di traffico caratteristici in funzione della categoria della strada e dell'intervallo di riferimento. Vengono invece distinte quattro tipologie di flusso veicolare:
 - “Fluid continuous flow” per velocità all'incirca costanti;
 - “Pulse continuous flow” per flusso turbolento con alternanza di accelerazioni e decelerazioni;
 - “Pulse accelerated flow” con la maggior parte dei veicoli in accelerazione;
 - “Pulse decelerated flow” con la maggior parte dei veicoli in decelerazione.

- la pavimentazione stradale considerata è di tipo standard, ma sono apportabili correzioni compatibili con la ISO 11819-1 in funzione del tipo di asfalto e delle velocità;
- l'influenza della pendenza della strada è inclusa nel normogramma. Sono distinti tre casi: pendenza fino al 2%, pendenza superiore al 2% in salita e pendenza superiore al 2% in discesa.

La risposta di NMPB-Routes-96 citato nella norma francese XPS 31-133 in termini di rispondenza delle emissioni al parco circolante è una incognita rispetto alla quale è necessario procedere con cautela nella risposta: turn over, allargamento del traffico a mezzi provenienti dall'est, stato di manutenzione degli autoveicoli, ecc. possono influire molto su quella che potrebbe essere giudicata, in prima istanza, una sovrastima.

Il confronto delle emissioni NMPB-Routes-96 con le emissioni in uso in altri paesi europei evidenzia una buona correlazione con i dati danesi riferiti al 1981 (RMV01) e al 2002 (RMV02) e, viceversa, una sovrastima di circa 2.5 dB rispetto alle emissioni utilizzate dal metodo di calcolo tedesco RLS90. Il confronto tra i valori di emissione LAE alla distanza di riferimento di 10 m e ad un'altezza di 1,5 m utilizzati per veicoli leggeri da diversi metodi di calcolo evidenzia che i valori di esposizione per gli standard NMPB e RLS sono simili per velocità superiori o uguali a 100 Km/h in caso di flusso indifferenziato, velocità e tipologia di flusso tipici di un tracciato autostradale (**Figura 3-4**).

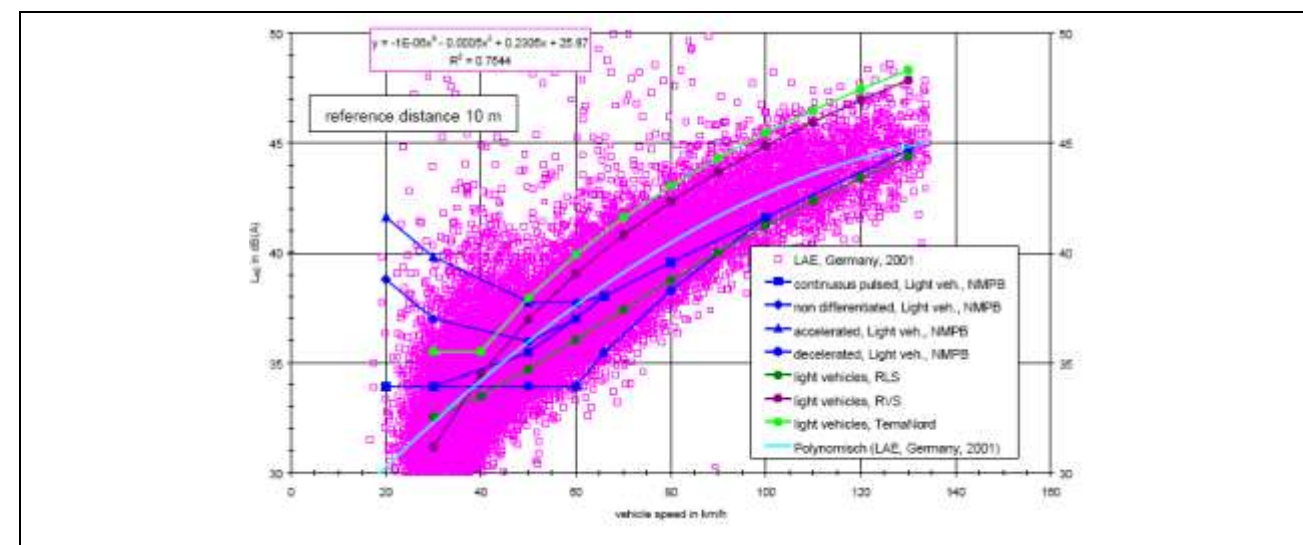


Figura 3-4 – Valori di emissione LAE in funzione della velocità per veicoli leggeri

Per quanto riguarda la divergenza geometrica, l'assorbimento atmosferico e l'effetto del terreno NMPB96 prevede quanto segue:

- Divergenza geometrica - Il decremento del livello di rumore con la distanza (Adiv) avviene secondo una propagazione sferica.
- Assorbimento atmosferico - Attenuazione del livello di rumore in funzione della temperatura e dell'umidità dell'aria (Aatm). In NMPB le condizioni standard sono 15°C

e 70% di umidità. Vanno considerati valori opportuni di coefficienti di assorbimento in accordo alla ISO 9613-1 per valori diversi della temperatura e umidità relativa.

- Effetto del terreno - L'attenuazione del terreno è valutata in modo differente in relazione alle condizioni meteorologiche di propagazione. In condizioni favorevoli il termine è calcolato in accordo al metodo indicato nell'ISO 9613-2. In condizioni omogenee è introdotto un coefficiente G del terreno, che è nullo per superfici riflettenti.

3.4.3 Dati di traffico

I dati di traffico utilizzati nello scenario di progetto, relativi all'anno 2025, sono stati estratti dallo studio di traffico, nell'ambito del quale sono stati calcolati i traffici medi suddivisi per tipologia di veicolo riferiti ai periodi diurno e notturno. Questa suddivisione è stata determinata dall'analisi della distribuzione dei dati di traffico orari rilevati sulla tratta in studio.

Per i relativi approfondimenti si rimanda al documento "Studio di Traffico" che accompagna il Progetto Definitivo.

3.4.4 Taratura del modello Previsionale

Al fine di valutare l'attendibilità del modello previsionale si è fatto riferimento ai risultati della campagna di rilievi appositamente svolta nell'anno 2020.

I punti di monitoraggio sono stati scelti in maniera tale da consentire un rilievo del rumore generato esclusivamente (o quasi, per quanto possibile) dall'infrastruttura che si voleva caratterizzare.

Per tale ragione le postazioni sono state scelte considerando:

- un ampio angolo di vista sulla strada;
- l'assenza di ostacoli tra il microfono e la sorgente stradale;
- l'assenza di significative fonti secondarie circostanti.

I valori rilevati in campo sono stati impiegati direttamente per valutare l'attendibilità del modello relativamente alla situazione di ante operam.

Viceversa, per i calcoli relativi alla situazione di post-operam, è stato considerato l'incremento dei flussi veicolari previsto per il 2025, scenario temporale di riferimento del progetto.

Mediante il modello di simulazione SoundPLAN è stata ricostruita la morfologia delle sezioni di taratura e sono stati collocati punti di calcolo in corrispondenza dei microfoni utilizzati in campo.

Le infrastrutture stradali sono state simulate inserendo i flussi veicolari contestualmente rilevati, mentre quelle ferroviarie sono state calibrate con la misura acustica.

Nel caso in esame, la taratura del modello a seguito dei rilievi fonometrici effettuati ha portato a considerare la probabilità di condizioni meteorologiche favorevoli alla propagazione pari allo 0% sia in periodo diurno che in periodo notturno.

Il risultato del processo di taratura ha evidenziato una buona corrispondenza tra valori simulati e valori misurati che in media è risultata pari a +1,4 dBA nel periodo diurno e +0,4 dBA nel periodo notturno.

I risultati di dettaglio del processo di taratura sono riportati nella **Tabella 3-6**

Tabella 3-6 – Dettagli dei rilievi fonometrici e risultati della taratura del modello

<i>Rilievi</i>	<i>Valori diurni misurati (dBA)</i>	<i>Valori diurni calcolati (dBA)</i>	<i>Δ diurno (dBA)</i>	<i>Valori notturni misurati (dBA)</i>	<i>Valori notturni calcolati (dBA)</i>	<i>Δ notturno (dBA)</i>
PC01	67	66,3	-0,7	61,2	61,3	0,1
PC02	65,5	67,7	2,2	58,9	60,4	1,5
PS01	60	62,6	2,6	56,6	57,7	1,1
PS03	52,9	53,7	0,8	47,2	46,3	-0,9
PS04	56	57,9	1,9	49,7	49,7	0

I risultati sopra riportati evidenziano come il modello implementato risulti adeguato ed efficace nel ricostruire i livelli di pressione acustica determinati dalle emissioni delle diverse infrastrutture.

In generale è possibile verificare una lieve sovrastima del modello maggiormente accentuata nel periodo diurno; ciò è verosimilmente dovuto a velocità di percorrenza ridotte a causa del congestionamento del sistema viario. Si sottolinea tuttavia che tale sovrastima è a favore di sicurezza per i ricettori dell'area

3.5 Previsione dei livelli di rumore ai ricettori

Censimento dei ricettori

Tramite sopralluoghi in sito è stata definita la destinazione d'uso e il numero di piani degli edifici presenti nell'area di intervento.

Le dimensioni geometriche precise degli edifici e degli altri elementi (artificiali o morfologici) che compongono il contesto territorio in studio sono state desunte dai rilievi topografici svolti a supporto della progettazione e dalla cartografia tecnica regionale.

L'area di studio è stata limitata agli edifici più prossimi alle nuove rotatorie, che sono maggiormente influenzati dalle nuove modifiche viarie e dai limiti dell'intervento in progetto.

In tale area di studio sono presenti sia edifici a destinazione residenziale sia edifici di tipo produttivo/commerciale; non sono presenti alcuni ricettori sensibili quali scuole od ospedali.

Ai ricettori sono stati assegnati i limiti di immissione derivanti dall'appartenenza alle fasce di pertinenza acustica o dalle zonizzazioni acustiche comunali.

I ricettori simulati sono illustrati e identificati con un codice numerico nella **Tabella 3-7**, che evidenzia anche l'indicazione delle fasce di pertinenza della nuova viabilità.

Localizzazione dei punti di calcolo

Il calcolo dei livelli di rumore in ambiente esterno e la conseguente identificazione delle aree di superamento devono essere svolte, in base alle indicazioni del DPR 142/2004, a 1 m di distanza dalla facciata degli edifici, in corrispondenza dei punti di maggiore esposizione. Il DM 29.11.2000, pur con diversa definizione (punto di maggiore criticità della facciata più esposta) ripropone l'attenzione sul fatto che nella fase di programmazione delle attività di risanamento l'identificazione delle aree di superamento deve sempre essere basata sulla condizione di maggiore esposizione del ricettore.

I punti di calcolo considerati sono quelli relativi alla facciata maggiormente esposta agli impatti acustici dell'infrastruttura considerata e sono gli stessi nelle simulazioni di ante e post mitigazione.

Nelle successive immagini sono riportati:

- codice identificativo dell'edificio;
- tipologia dell'edificio;
- fascia di pertinenza acustica/classe acustica di appartenenza dell'edificio;
- livelli di rumore stato di fatto;
- limiti di normativa stato di progetto;
- livelli di rumore stato di progetto;
- Il modello di calcolo determina la serie dei punti di calcolo su tutta la superficie degli edifici considerati, secondo i parametri indicati al paragrafo **3.5.1**. I

3.5.1 Specifiche di calcolo

I calcoli acustici con il modello previsionale SoundPLAN sono stati svolti utilizzando i seguenti parametri:

Parametri generali:

- | | |
|--|--|
| – Coefficiente di assorbimento del terreno | G=1 per le aree agricole e G=0.3 per le aree urbanizzate |
| – Numero di riflessioni | 3 |
| – Temperatura dell'aria | 15°C |
| – Umidità relativa dell'aria | 70% |
| – Pressione atmosferica | 101.325 Kpa |
| – Condizioni meteorologiche favorevoli alla propagazione | Diurno 0% - Notturmo 0% |

Parametri calcolo in facciata

- | | |
|--|-------|
| – Distanza dei punti di calcolo dalla facciata | 1 m |
| – Quota prima serie di punti | 1.5 m |
| – Passo in altezza serie di punti successive | 3 m |

3.5.2 Scenari simulati

Sono stati simulati i seguenti scenari:

Scenario di stato attuale

Sono state simulate solo le sorgenti stradali già esistenti ed interessate dai lavori dell'opera in oggetto con i flussi veicolari derivanti dallo studio del traffico per lo scenario di stato attuale (anno 2019) e con la morfologia e le opere di mitigazione attualmente presenti sul territorio.

È stata inoltre simulato il contributo della linea ferroviaria Bologna-Padova, caratterizzato tramite la misura PC01.

Nella **Tabella 3-7** sono riportati i risultati delle simulazioni acustiche dove sono evidenziati in rosso i livelli acustici superiori ai limiti di riferimento.

Si osservi, come, già nello stato di fatto, alcuni recettori più prossimi alle sorgenti di rumore, presentino superamenti dei limiti di riferimento.

Scenario di post operam

Le previsioni degli impatti acustici a fronte del progetto sono state effettuate simulando le sorgenti stradali interessate dai lavori in oggetto con i flussi veicolari derivanti dallo studio del traffico per lo scenario di stato di progetto (anno 2025).

È stata inoltre simulato il contributo della linea ferroviaria Bologna-Padova, caratterizzato tramite la misura PC01.

Nella **Tabella 3-7** vengono mostrati i risultati delle simulazioni dello stato di progetto.

Relativamente ai suddetti interventi in progetto, si evidenzia che per alcuni ricettori le simulazioni hanno mostrato superamenti dei limiti vigenti, come peraltro già avviene nello stato attuale.

Si rilevano tuttavia alcuni lievi peggioramenti dei livelli attesi soprattutto a causa dell'aumento del traffico veicolare previsto in progetto anno 2025: in questo caso la previsione e l'approfondimento degli interventi di mitigazione viene rimandata ai Piani di Risanamento Acustico dei Gestori delle infrastrutture stradali interessate dai lavori, in quanto interventi di mitigazione limitati alla sola rotatoria o all'interconnessione tra strade non solo risultano inefficaci, ma spesso sono preclusi da considerazioni legate alla norme di sicurezza (visibilità incroci...).

3.6 Risultati delle simulazioni

Nella **Tabella 3-7** sono riportati i risultati delle simulazioni acustiche dove sono evidenziati in rosso i livelli acustici superiori ai limiti di riferimento. I punti di calcolo considerati sono quelli relativi alla facciata maggiormente esposta agli impatti acustici dell'infrastruttura considerata e sono gli stessi nelle simulazioni di ante e post. Il numero di abitanti è stato stimato sulla base della superficie di ogni edificio e ipotizzando circa 33 mq per abitante.

Intervento n. 4

Per quanto riguarda l'adeguamento alla sezione viaria dell'intervento 4 è possibile osservare come il progetto influenzi in maniera marginale i livelli acustici attesi presso i recettori residenziali più prossimi all'intervento.

In particolare, come facilmente individuabile nella successiva **Figura 3-5** in cui sono rappresentati le differenze tra le pressioni acustiche di facciata dei valori massimi notturni dello scenario di progetto (anno 2025) e di quello attuale (anno 2019), i ricettori dell'area dell'intervento evidenziano il sostanziale mantenimento del clima acustico attuale, con variazioni sempre inferiori ad 1 dBA.

I valori massimi sono individuabili sulla **Tabella 3-7**.

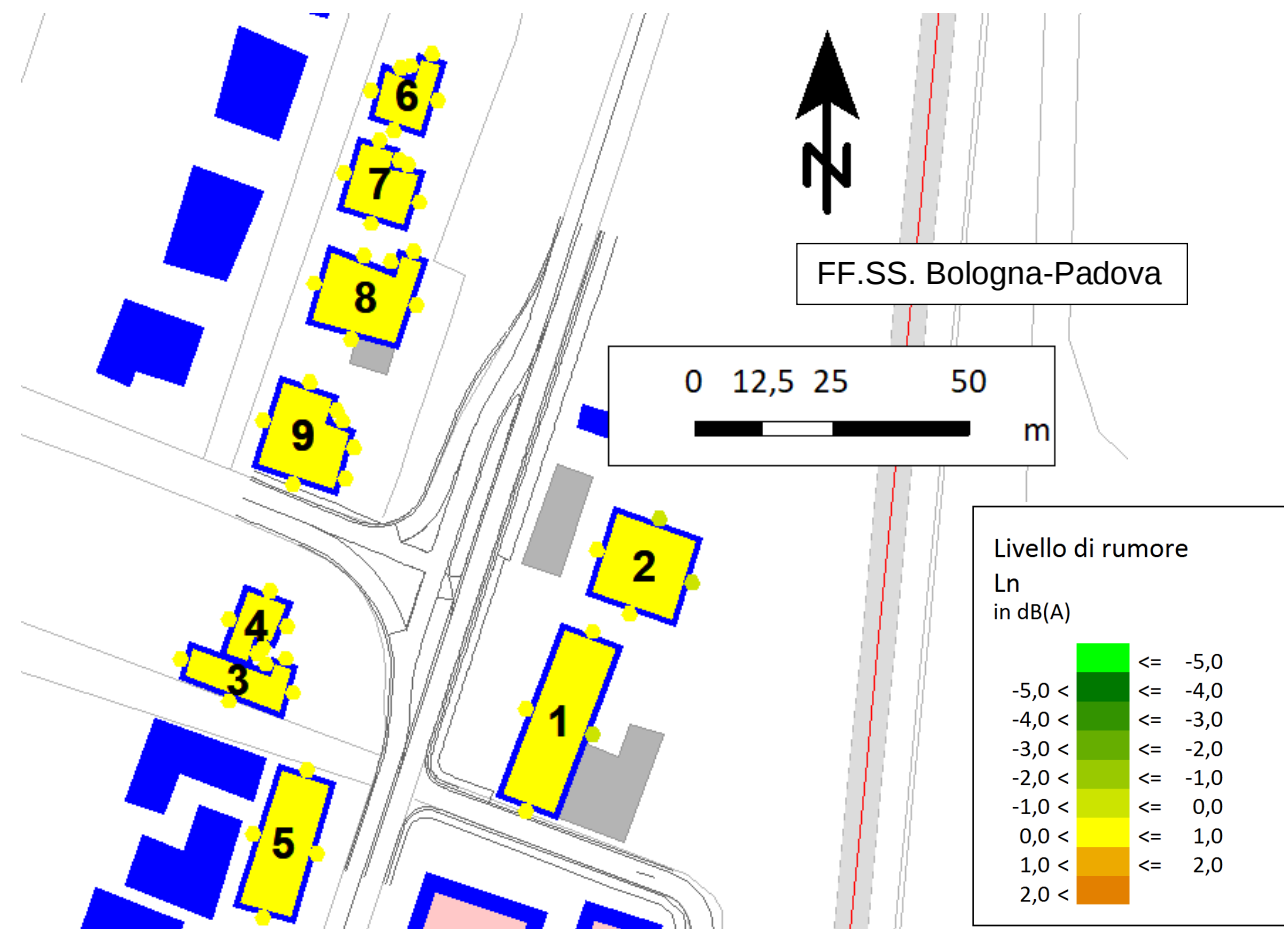


Figura 3-5 – Intervento n°4: differenze massime dei livelli di pressione acustica notturna tra lo scenario di progetto e lo stato attuale

Intervento n. 3

Per quanto riguarda la realizzazione della rotatoria dell'intervento 3 è possibile osservare come il progetto determini un lieve peggioramento dei livelli acustici attesi presso i recettori residenziali più prossimi all'intervento.

Le variazioni tra i due scenari sono facilmente individuabili nella successiva **Figura 3-6** in cui sono rappresentati le differenze tra le pressioni acustiche di facciata dei valori massimi notturni dello scenario di progetto (anno 2025) e di quello attuale (anno 2019).

I valori massimi sono individuabili sulla **Tabella 3-7**.

Occorre evidenziare che già allo stato attuale i ricettori in affaccio al nodo in esame sono interessati da valori significativi e in alcuni casi oltre la norma. La configurazione però dell'abitato, caratterizzato da edifici pluripiano in immediato affaccio alla viabilità locale, la presenza dei molteplici accessi alle abitazioni, tipiche del contesto urbano e l'assenza di spazi laterali alla viabilità impediscono di realizzare barriere acustiche, che tra l'altro risulterebbero, se limitate alla sola rotatoria, verosimilmente inefficaci.

Per quanto concerne l'eventuale utilizzo di infissi silenti, si evidenzia che già allo stato attuale sono presenti alcuni piani che presentano un esubero dei valori notturni di facciata di 60 dBA. La rotatoria in progetto, non comporta un incremento dei piani che presentano valori notturni superiori a 60dBA e quindi, in considerazione di un abbattimento di 20 dBA dovuto all'involucro dell'edificio, si ritiene che gli eventuali esuberi dei limiti interni notturni per gli edifici residenziali, paria 40 dBA previsti dal DPR142/04, non siano da ascrivere al nuovo progetto, ma alla viabilità attualmente presente e quindi sono da valutare con il Piano di Risanamento Acustico del Gestore dell'infrastruttura in esame.

La scelta di ipotizzare un fonoisolamento di facciata pari a 20 dB è frutto dell'esperienza maturata in numerose campagne di monitoraggio acustico in cui è stato rilevato che, anche in presenza di edifici di non recente costruzione e in stato di conservazione non ottimale, il suddetto valore è certamente garantito.

Infine, si precisa che, in considerazione delle basse velocità di percorrenza che si hanno in approccio all'intersezione stradale, il ricorso, come soluzione mitigativa, ad una pavimentazione acusticamente basso-emissiva, come quelle con la presenza di polverino di gomma, possa essere di fatto l'unica percorribile e contribuire ad un lieve miglioramento del clima acustico atteso. Pertanto si suggerisce che nelle successive fasi progettuali venga adottata una stesa di tale tipologia di asfalti di almeno 150 m per lato sulla viabilità in approccio alla rotatoria.

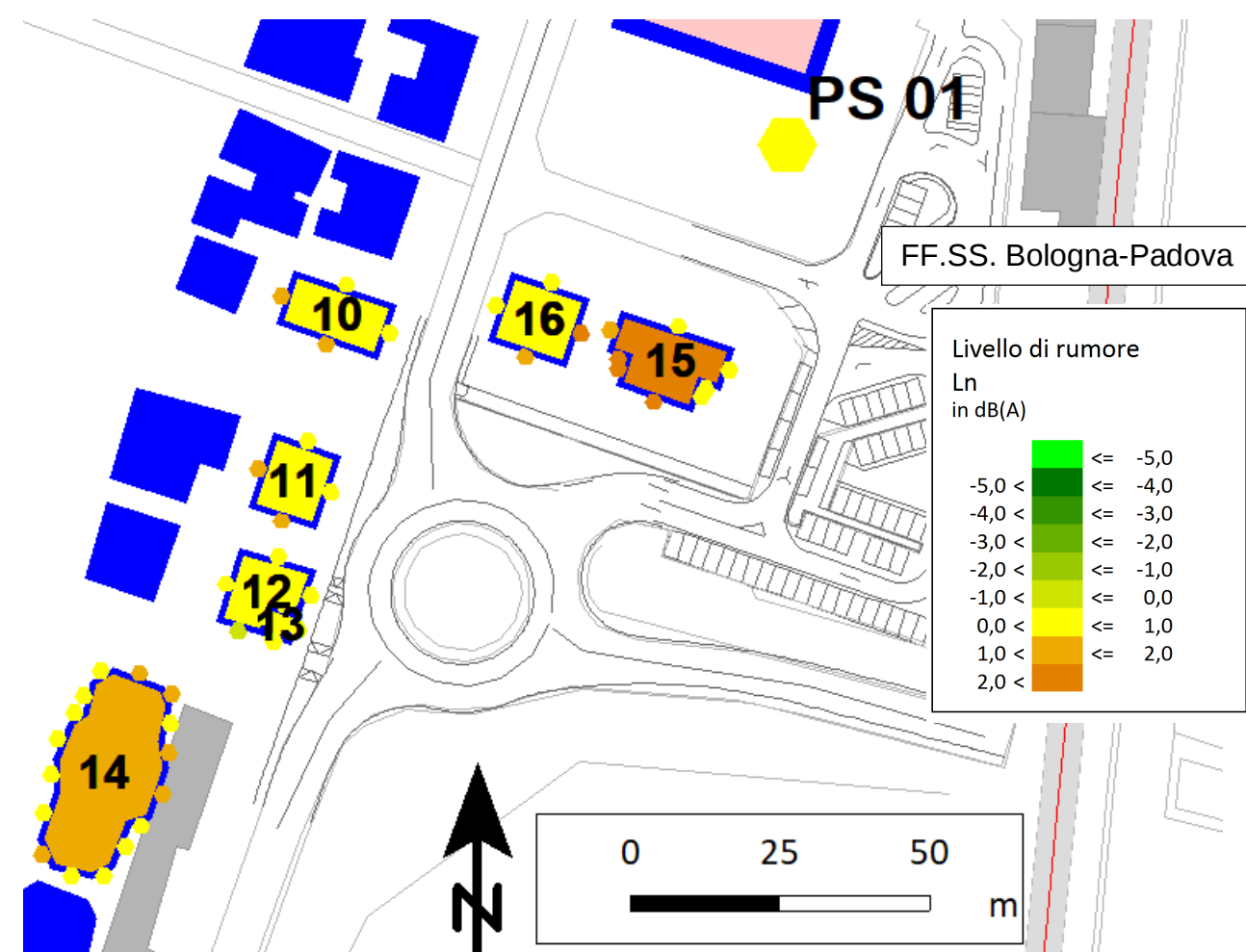


Figura 3-6 – Intervento n°3: differenze massime dei livelli di pressione acustica notturna tra lo scenario di progetto e lo stato attuale

Intervento n. 2

Per quanto riguarda l'adeguamento alla sezione viaria dell'intervento 2 è possibile osservare come il progetto influenzi in maniera positiva i livelli acustici attesi presso i recettori residenziali più prossimi all'intervento. In particolare, come facilmente individuabile nella successiva **Figura 3-7** in cui sono rappresentati le differenze tra le pressioni acustiche di facciata dei valori massimi notturni dello scenario di progetto (anno 2025) e di quello attuale (anno 2019), quasi tutti i ricettori evidenziano un miglioramento del clima acustico attuale. I valori massimi sono individuabili sulla **Tabella 3-7**.

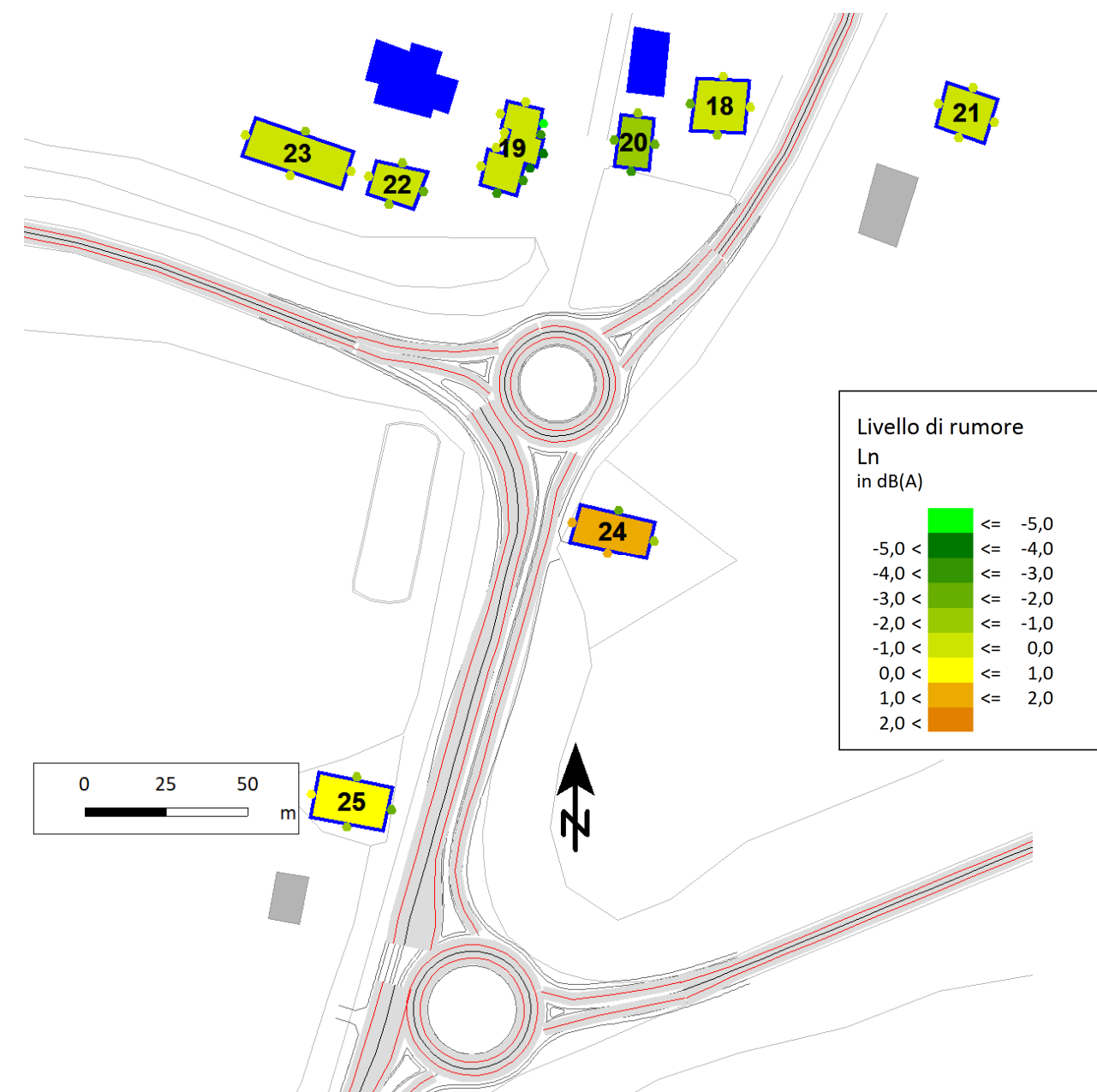


Figura 3-7 – Intervento n°2: differenze massime dei livelli di pressione acustica notturna tra lo scenario di progetto e lo stato attuale

Intervento n. 1

Per quanto riguarda l'adeguamento alla sezione viaria dell'intervento 1 è possibile osservare come il progetto influenzi in maniera positiva i livelli acustici attesi presso i recettori residenziali più prossimi all'intervento.

In particolare, come facilmente individuabile nella successiva **Figura 3-8** in cui sono rappresentati le differenze tra le pressioni acustiche di facciata dei valori massimi notturni dello scenario di progetto (anno 2025) e di quello attuale (anno 2019), quasi tutti i ricettori evidenziano un miglioramento del clima acustico attuale.

I valori massimi sono individuabili sulla **Tabella 3-7**.

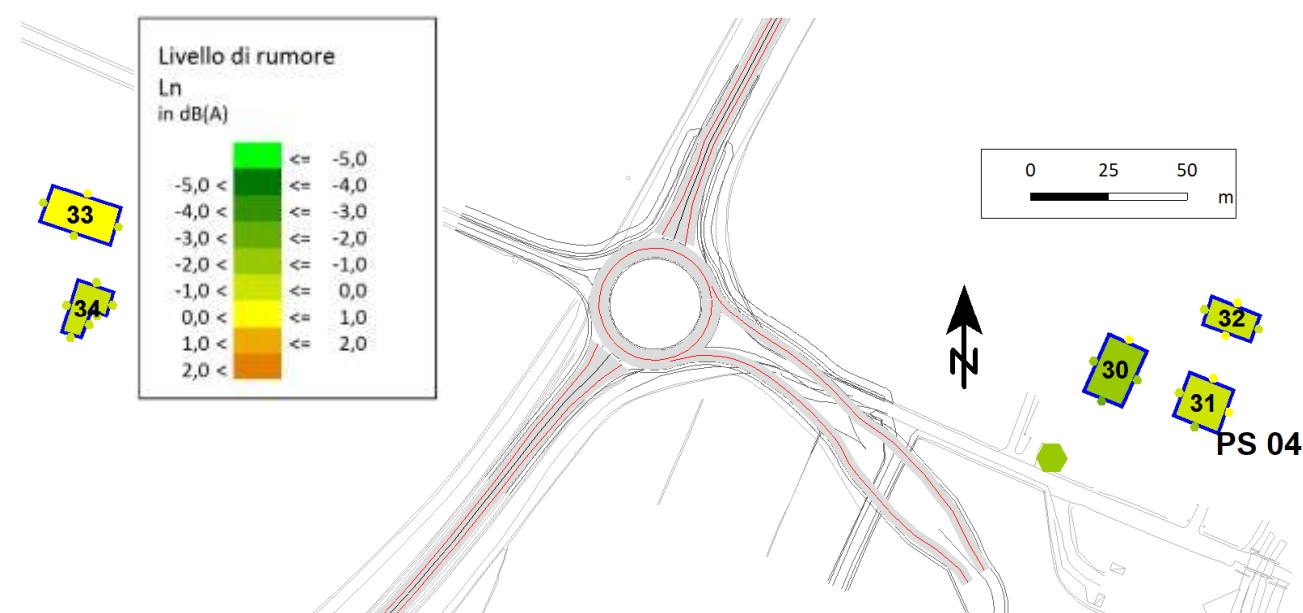


Figura 3-8 – Intervento n°1: differenze massime dei livelli di pressione acustica notturna tra lo scenario di progetto e lo stato attuale

Intervento n. 5

Per quanto riguarda l'adeguamento alla sezione viaria dell'intervento 1 è possibile osservare come il progetto determini un lieve peggioramento dei livelli acustici attesi presso i recettori residenziali più prossimi all'intervento.

Le variazioni tra i due scenari sono facilmente individuabili nella successiva **Figura 3-9** in cui sono rappresentati le differenze tra le pressioni acustiche di facciata dei valori massimi notturni dello scenario di progetto (anno 2025) e di quello attuale (anno 2019).

I valori massimi sono individuabili sulla **Tabella 3-7**.

Occorre evidenziare però, che i valori di pressione sonora simulati sono sempre rispettosi dei limiti vigenti. Le differenze simulate derivano in particolare dall'incremento di traffico previsto per la prospiciente via Marconi, tra lo scenario attuale e quello futuro.

La configurazione però dell'abitato, caratterizzato da edifici pluripiano in immediato affaccio alla viabilità locale, la presenza dei molteplici accessi alle abitazioni, tipiche del contesto urbano e l'assenza di spazi laterali alla viabilità impediscono di realizzare barriere acustiche, che tra l'altro risulterebbero, se limitate alla sola rotatoria, verosimilmente inefficaci.

Infine, si precisa che, in considerazione delle basse velocità di percorrenza che si hanno in approccio all'intersezione stradale, il ricorso, come soluzione mitigativa, ad una pavimentazione acusticamente basso-emissiva, come quelle con la presenza di polverino di gomma, possa essere di fatto l'unica percorribile e contribuire ad un lieve miglioramento del clima acustico atteso. Pertanto si suggerisce che nelle successive fasi progettuali venga adottata una stesa di tale tipologia di asfalti di almeno 150 m per lato sulla viabilità in approccio alla rotatoria.

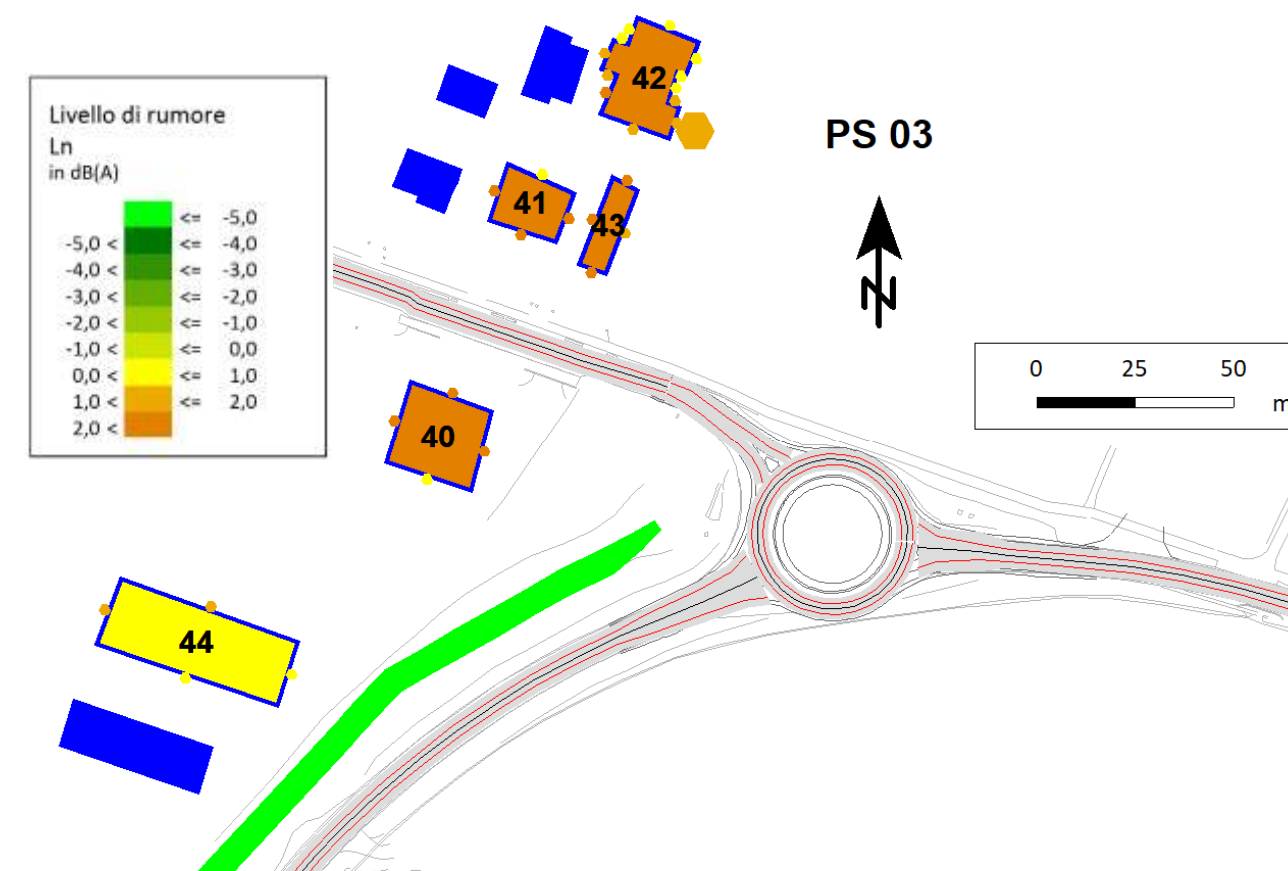


Figura 3-9 – Intervento n°5: differenze massime dei livelli di pressione acustica notturna tra lo scenario di progetto e lo stato attuale

RIORGANIZZAZIONE DELLA VIABILITÀ DI ADDUZIONE
ALL'ACCESSO NORD DELL'INTERPORTO DI BOLOGNA

Tabella 3-7 – Risultati simulazioni acustiche

Comune	Edificio	Piano	Destinazione d'suo	Fascia o Classe acustica di progetto	Superficie [mq]	Abitanti associati	Livello limite zonizzazione acustica comunale [dB(A)]		Livello limite [dB(A)]		Situazione attuale [dB(A)]		Situazione post operam Anno 2025 [dB(A)]		Note
							day	night	day	night	day	night	day	night	
San Giorgio in Piano	1	piano terra	Residenziale	FA	364	33	65	55	70	60	65,8	60,6	66,1	60,7	
San Giorgio in Piano	1	piano 1	Residenziale	FA	364	33	65	55	70	60	66,4	61,1	66,7	61,2	
San Giorgio in Piano	1	piano 2	Residenziale	FA	364	33	65	55	70	60	66,4	61,1	66,7	61,2	
San Giorgio in Piano	2	piano terra	Residenziale	FA	261	16	65	55	70	60	65,8	60,8	65,8	60,8	
San Giorgio in Piano	2	piano 1	Residenziale	FA	261	16	65	55	70	60	68,5	63,5	68,5	63,5	
San Giorgio in Piano	3	piano terra	Residenziale	FA	134	8	65	55	70	60	65,1	59,7	65,9	60,3	
San Giorgio in Piano	3	piano 1	Residenziale	FA	134	8	65	55	70	60	66,0	60,5	66,6	61,0	
San Giorgio in Piano	4	piano terra	Residenziale	FA	94	6	65	55	70	60	65,0	59,1	65,9	59,8	
San Giorgio in Piano	4	piano 1	Residenziale	FA	94	6	65	55	70	60	66,0	60,0	66,7	60,6	
San Giorgio in Piano	5	piano terra	Residenziale	FA	268	16	65	55	70	60	69,0	64,3	69,5	64,6	
San Giorgio in Piano	5	piano 1	Residenziale	FA	268	16	65	55	70	60	69,1	64,4	66,0	60,4	
San Giorgio in Piano	6	piano terra	Residenziale	FA	111	7	65	55	70	60	63,3	56,7	63,7	57,0	
San Giorgio in Piano	6	piano 1	Residenziale	FA	111	7	65	55	70	60	66,7	60,2	66,9	60,4	
San Giorgio in Piano	7	piano terra	Residenziale	FA	146	9	65	55	70	60	63,7	56,9	64,1	57,3	
San Giorgio in Piano	7	piano 1	Residenziale	FA	146	9	65	55	70	60	67,0	60,4	67,2	60,6	
San Giorgio in Piano	8	piano terra	Residenziale	FA	239	14	65	55	70	60	65,4	58,5	66,0	59,2	
San Giorgio in Piano	8	piano 1	Residenziale	FA	239	14	65	55	70	60	67,7	61,1	68,1	61,4	
San Giorgio in Piano	9	piano terra	Residenziale	FA	229	14	65	55	70	60	66,0	59,4	67,0	60,3	
San Giorgio in Piano	9	piano 1	Residenziale	FA	229	14	65	55	70	60	67,2	60,6	62,1	55,7	
San Giorgio in Piano	10	piano terra	Residenziale	FA	145	13	65	55	70	60	68,5	63,8	69,8	64,4	
San Giorgio in Piano	10	piano 1	Residenziale	FA	145	13	65	55	70	60	68,7	63,9	70,1	64,6	
San Giorgio in Piano	10	piano 2	Residenziale	FA	145	13	65	55	70	60	68,3	63,5	69,8	64,2	
San Giorgio in Piano	11	piano terra	Residenziale	FA	131	8	65	55	70	60	68,3	63,2	71,0	63,9	
San Giorgio in Piano	11	piano 1	Residenziale	FA	131	8	65	55	70	60	68,6	63,4	65,2	59,5	
San Giorgio in Piano	12	piano terra	Residenziale	FA	123	7	65	55	70	60	69,8	63,8	71,9	64,3	
San Giorgio in Piano	12	piano 1	Residenziale	FA	123	7	65	55	70	60	69,7	63,7	72,1	64,6	
San Giorgio in Piano	13	piano terra	Residenziale	FA	22	2	65	55	70	60	69,9	63,3	71,0	63,5	
San Giorgio in Piano	13	piano 1	Residenziale	FA	22	2	65	55	70	60	69,8	63,3	71,3	63,9	
San Giorgio in Piano	13	piano 2	Residenziale	FA	22	2	65	55	70	60	69,0	62,6	70,9	63,5	
San Giorgio in Piano	14	piano terra	Residenziale	FA	479	29	65	55	70	60	61,5	54,4	62,9	55,6	
San Giorgio in Piano	14	piano 1	Residenziale	FA	479	29	65	55	70	60	62,4	55,6	61,9	54,8	
San Giorgio in Piano	15	piano terra	Residenziale	FA	183	17	65	55	70	60	61,1	56,0	61,6	56,3	
San Giorgio in Piano	15	piano 1	Residenziale	FA	183	17	65	55	70	60	63,3	58,3	63,8	58,6	
San Giorgio in Piano	15	piano 2	Residenziale	FA	183	17	65	55	70	60	64,1	59,0	64,5	59,3	
San Giorgio in Piano	16	piano terra	Residenziale	FA	145	13	65	55	70	60	70,3	65,7	71,0	66,0	
San Giorgio in Piano	16	piano 1	Residenziale	FA	145	13	65	55	70	60	69,9	65,2	70,7	65,6	
San Giorgio in Piano	16	piano 2	Residenziale	FA	145	13	65	55	70	60	69,1	64,4	69,9	64,7	
San Giorgio in Piano	18	piano terra	Residenziale	FA	261	16	65	55	70	60	66,7	59,3	66,2	58,7	
San Giorgio in Piano	18	piano 1	Residenziale	FA	261	16	65	55	70	60	69,1	61,7	68,6	61,1	

RIORGANIZZAZIONE DELLA VIABILITÀ DI ADDUZIONE
ALL'ACCESSO NORD DELL'INTERPORTO DI BOLOGNA

Comune	Edificio	Piano	Destinazione d'suo	Fascia o Classe acustica di progetto	Superficie [mq]	Abitanti associati	Livello limite zonizzazione acustica comunale [dB(A)]		Livello limite [dB(A)]		Situazione attuale [dB(A)]		Situazione post operam Anno 2025 [dB(A)]		Note
							day	night	day	night	day	night	day	night	
San Giorgio in Piano	19	piano terra	Residenziale	FA	314	19	65	55	70	60	59,7	52,2	54,8	47,4	
San Giorgio in Piano	19	piano 1	Residenziale	FA	314	19	65	55	70	60	64,2	56,7	59,8	52,3	
San Giorgio in Piano	20	piano terra	Residenziale	FA	166	15	65	55	70	60	63,0	55,5	59,0	51,5	
San Giorgio in Piano	20	piano 1	Residenziale	FA	166	15	65	55	70	60	65,8	58,3	61,8	54,3	
San Giorgio in Piano	20	piano 2	Residenziale	FA	166	15	65	55	70	60	66,3	58,8	62,5	55,1	
San Giorgio in Piano	21	piano terra	Residenziale	FA	219	13	65	55	70	60	60,9	53,4	60,1	52,5	
San Giorgio in Piano	21	piano 1	Residenziale	FA	219	13	65	55	70	60	64,7	57,3	60,6	53,4	
San Giorgio in Piano	22	piano terra	Residenziale	FA	175	11	65	55	70	60	54,9	47,5	52,1	44,8	
San Giorgio in Piano	22	piano 1	Residenziale	FA	175	11	65	55	70	60	59,8	52,3	56,6	49,2	
San Giorgio in Piano	23	piano terra	Residenziale	FA	392	24	65	55	70	60	51,8	44,4	51,4	43,9	
San Giorgio in Piano	23	piano 1	Residenziale	FA	392	24	65	55	70	60	56,9	49,4	46,1	39,1	
San Giorgio in Piano	24	piano terra	Residenziale	FA	276	17	65	55	70	60	71,4	63,9	72,5	65,0	
San Giorgio in Piano	24	piano 1	Residenziale	FA	276	17	65	55	70	60	72,3	64,8	72,6	65,0	
San Giorgio in Piano	25	piano terra	Residenziale	FA	311	19	65	55	70	60	71,9	64,4	69,5	62,0	
San Giorgio in Piano	25	piano 1	Residenziale	FA	311	19	65	55	70	60	72,5	65,0	64,5	57,0	
San Giorgio in Piano	30	piano terra	Residenziale	FB	256	16	60	50	65	55	54,4	46,6	52,0	45,0	
San Giorgio in Piano	30	piano 1	Residenziale	FB	256	16	60	50	65	55	58,4	50,5	56,0	48,9	
San Giorgio in Piano	31	piano terra	Residenziale	FB	220	13	60	50	65	55	50,9	43,0	47,5	40,6	
San Giorgio in Piano	31	piano 1	Residenziale	FB	220	13	60	50	65	55	54,2	46,2	51,1	44,2	
San Giorgio in Piano	32	piano terra	Residenziale	FB	154	9	60	50	65	55	50,5	43,3	50,3	43,1	
San Giorgio in Piano	32	piano 1	Residenziale	FB	154	9	60	50	65	55	53,8	46,5	53,4	46,3	
San Giorgio in Piano	33	piano terra	Residenziale	FB	280	17	60	50	65	55	51,3	46,0	51,3	46,0	
San Giorgio in Piano	33	piano 1	Residenziale	FB	280	17	60	50	65	55	53,9	48,7	53,9	48,7	
San Giorgio in Piano	34	piano terra	Residenziale	FB	161	10	60	50	65	55	54,0	47,4	53,3	46,7	
San Giorgio in Piano	34	piano 1	Residenziale	FB	161	10	60	50	65	55	55,9	49,3	55,3	48,8	
San Giorgio in Piano	40	piano terra	Residenziale	FA	463	28	65	55	70	60	61,5	53,8	64,2	56,8	
San Giorgio in Piano	40	piano 1	Residenziale	FA	463	28	65	55	70	60	62,4	54,7	64,9	57,5	
San Giorgio in Piano	41	piano terra	Residenziale	FA	252	15	60	50	70	60	60,3	52,6	62,7	55,3	
San Giorgio in Piano	41	piano 1	Residenziale	FA	252	15	60	50	70	60	61,6	54,0	63,8	56,4	
San Giorgio in Piano	42	piano terra	Residenziale	FA	448	41	60	50	70	60	52,3	44,9	53,8	46,4	
San Giorgio in Piano	42	piano 1	Residenziale	FA	448	41	60	50	70	60	55,6	48,3	56,8	49,4	
San Giorgio in Piano	42	piano 2	Residenziale	FA	448	41	60	50	70	60	57,3	49,9	58,1	50,8	
San Giorgio in Piano	43	piano terra	Residenziale	FA	163	10	60	50	70	60	61,2	53,6	63,5	56,1	
San Giorgio in Piano	43	piano 1	Residenziale	FA	163	10	60	50	70	60	62,4	54,8	64,4	57,0	
San Giorgio in Piano	44	piano terra	Residenziale	FA	828	75	65	55	70	60	54,0	46,8	54,7	47,5	
San Giorgio in Piano	44	piano 1	Residenziale	FA	828	75	65	55	70	60	59,6	52,4	60,2	53,0	
San Giorgio in Piano	44	piano 2	Residenziale	FA	828	75	65	55	70	60	63,2	56,0	57,4	50,2	

3.6.1 Conclusioni

Lo studio presente si è svolto effettuando, innanzitutto, una campagna di indagini fonometriche presso alcuni dei recettori interessati al progetto in esame.

I risultati di tale campagna hanno permesso, quindi, di verificare l'attendibilità il modello acustico adottato.

Il modello è stato utilizzato per prevedere l'impatto acustico degli interventi progettati.

È possibile affermare che i progetti in esame non influenzano in maniera significativa il clima acustico dell'area. Per quasi tutti i progetti si evidenzia il sostanziale mantenimento dei livelli attesi all'anno 2025 rispetto allo scenario dello stato attuale.

Per quanto riguarda i pochi piani che presentano lievi peggioramenti, si evidenzia che si tratta sempre di ricettori che già allo stato attuale risultano fuori limite e i progetti non comportano l'esubero aggiuntivo di ulteriori edifici. Gli esuberi riguardano ricettori in affaccio alle viabilità attualmente presenti. I molteplici accessi alle abitazioni, tipici del contesto urbano, l'assenza di spazi laterali alla viabilità, oltre che considerazioni di sicurezza legate alla necessità di garantire la visibilità presso gli incroci a raso, impediscono di realizzare barriere acustiche, che tra l'altro risulterebbero, se limitate ai soli limiti di progetto, verosimilmente inefficaci.

Si ritiene inoltre che, in considerazione delle basse velocità di percorrenza che si hanno in approccio all'intersezione stradale, il ricorso, come soluzione mitigativa, ad una pavimentazione acusticamente basso-emissiva, come quelle con la presenza di polverino di gomma, possa essere di fatto l'unica percorribile e contribuire ad un lieve miglioramento del clima acustico atteso. Pertanto si suggerisce che nelle successive fasi progettuali venga adottata una stesa di tale tipologia di asfalti di almeno 150 m per lato sulla viabilità in approccio alla rotatoria.

Per quanto concerne l'eventuale utilizzo di infissi silenti, si evidenzia che già allo stato attuale sono presenti alcuni piani che presentano un esubero dei valori notturni di facciata di 60 dBA. Le opere in progetto, non comportano un incremento dei piani che presentano valori notturni superiori a 60dBA e quindi, in considerazione di un abbattimento di 20 dBA dovuto all'involucro dell'edificio, si ritiene che gli eventuali esuberi dei limiti interni notturni per gli edifici residenziali, paria 40 dBA (DPR142/04), non siano da ascrivere alle nuove sistemazioni stradali, ma alla viabilità attualmente presente. Tali mitigazioni sono quindi da valutare coerentemente al Piano di Risanamento Acustico dei Gestori delle infrastrutture in esame.

La scelta di ipotizzare un fonoisolamento di facciata pari a 20 dB è frutto dell'esperienza maturata in numerose campagne di monitoraggio acustico in cui è stato rilevato che, anche in presenza di edifici di non recente costruzione e in stato di conservazione non ottimale, il suddetto valore è certamente garantito.

4 VALUTAZIONE DELLE CARATTERISTICHE GEOMECCANICHE

Facendo riferimento alle aree di intervento descritte precedentemente, si riportano i risultati ottenuti correlando le informazioni ottenute in due diverse campagne sperimentali eseguite a distanza di tempo. In particolare si andranno ad integrare le informazioni contenute all'interno di una campagna sperimentale del 2019 e del 2020 eseguite nelle medesime aree.

In tabella si riporta la nomenclatura e la profondità dei campioni prelevati durante lo svolgimento del sondaggio a carotaggio continuo S-D1 in sito e della prova di penetrazione CPTU-C1 in corrispondenza dell'intervento n.3.

Dalle prove svolte in sito si sono estratti:

- 5 campioni indisturbati
- 9 campioni rimaneggiati

Tenendo in considerazione il disturbo sui campioni prelevati durante l'esecuzione delle prove in sito, sono stati utilizzati esclusivamente i campioni con il minor grado di disturbo per determinare le caratteristiche meccaniche che verranno attribuite ai diversi strati di terreno presenti al fine di determinare la caratterizzazione geotecnica in sito.

Z _s [m]	Campione disturbato	Campione indisturbato
1,50-1,70	CR1	
2,40-2,90		C1
3,00-3,20	CR2	
4,00-4,50		SH1
6,00-6,45	CR4	
7,00-7,50		SH2
9,00-9,45	CR6	
10,00-10,50		SH3
12,00-12,45	CR8	
15,00-15,45	CR9	
17,50-18,00		SH4
21,50-21,90	CR11	
24,00-24,5	CR12	
27,00-27,45	CR13	

Tab.: "Campioni e relative profondità di estrazione per il sondaggio SD1"

Pertanto tenendo in considerazione le stratigrafie dedotte dalle prove in sito (vedi GEO100) si definisce una stratigrafia di progetto che descrive un banco di terreno di 30 metri di spessore, suddiviso in 5 litotipi diversi.

z [m]	Litotipo
0,00-5,50	Limo con argilla deb. sabbiosa
5,50-8,50	Limo argilloso sabbioso
8,50-12,00	Alternanze Limo argilloso sabbioso e Sabbia limosa
12,00-18,00	Argilla con limo sabbiosa
18,00-30,00	Sabbia limosa o debolmente limosa

Fig. "Stratigrafia di progetto"

Di seguito si riporta il grafico in cui vengono inseriti i dati di tre prove CPT (C406, C407 e CPTU-C1) eseguite all'interno dell'area di intervento. In ascisse è stato riportato il valore misurato durante la prova della resistenza di punta q_c in kPa, in funzione della profondità z alla quale è stata rilevata. La registrazione avviene in maniera continua durante tutto lo svolgimento della prova.

Dal grafico, si evidenzia come durante la penetrazione dello strumento si passi dall'attraversare terreni coesivi a matrice limosa ed argillosa a terreni incoerenti come sabbie e ghiaie. L'andamento delle spezzate mostrano zone con piccole variazioni che descrivono la presenza di terreni coesivi mentre i picchi rappresentano rapide variazioni con presenza di intervalli di terreno sabbioso.

Si può osservare che tutte le prove mostrano la presenza di sottili lenti sabbiose che modificano fortemente l'andamento della misurazione. Tale informazione conferma la scelta della stratigrafia di progetto determinata.

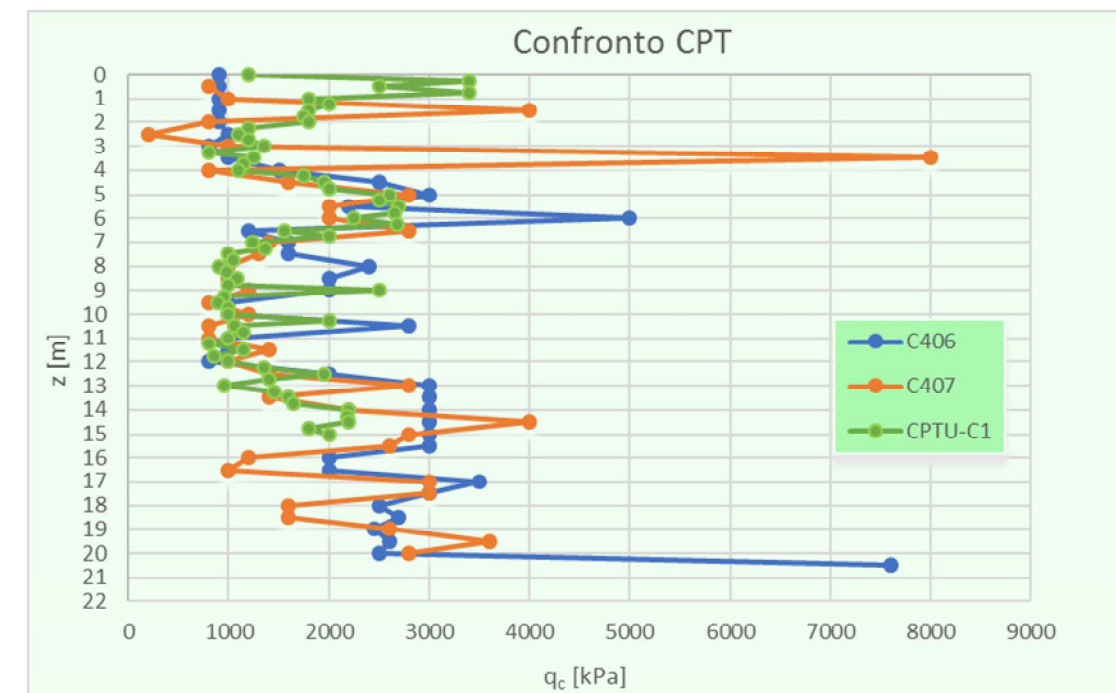


Fig. "Prove CPT eseguite in sito"

**RIORGANIZZAZIONE DELLA VIABILITÀ DI ADDUZIONE
ALL'ACCESSO NORD DELL'INTERPORTO DI BOLOGNA**

Attraverso la conoscenza della resistenza alla punta registrata nella prova CPT si può calcolare il valore della coesione non drenata dei terreni attraversati attraverso la seguente relazione:

$$c_u = \frac{q_c - \sigma_v}{1.5 + 2.5}$$

Dove q_c è la resistenza alla punta, σ_v è la tensione verticale litostatica agente calcolata con la formula lineare $\sigma_v = \gamma z$, dove si è scelto un valore cautelativo del peso di volume di terreno γ pari a 19 kN/m³, indicato anche dai risultati derivanti dalla prova CPTU-C1 allegata a questa relazione. Sempre rispettando una scelta cautelativa si è preso un valore di 25 come divisore dell'equazione riportata.

Per determinare il valore della coesione non drenata da assegnare agli strati di progetto, si è calcolato un valore medio per i diversi strati, escludendo dal calcolo i valori della resistenza alla punta corrispondenti ai diversi picchi registrati. E' stato determinato il valore medio tra le medie ottenute nelle singole prove per i diversi strati di progetto che definisce un intervallo di valori per la coesione non drenata di progetto $c_{u,d}$ che ha come estremi di intervallo il valore minimo ed il valore massimo ottenuti.

z [m]	Litotipo	$c_{u,d}$ [kPa]	
		MIN	MAX
0,00-5,50	Limo con argilla deb. Sabbiosa	42,20	67,00
5,50-8,50	Limo argilloso sabbioso	53,00	64,70
8,50-12,00	Alternanze Limo argilloso sabbioso e Sabbia limosa	33,20	40,30
12,00-18,00	Argilla con limo sabbiosa	58,70	88,20
18,00-30,00	Sabbia limosa o debolmente limosa	78,80	87,90

Tab. Coesione non drenata di progetto $c_{u,d}$ "

Si riportano di seguito i risultati derivanti dall'attività di laboratorio per i campioni di terreno prelevati durante il sondaggio S-D1 e quelli relativi ad un campione indisturbato prelevato durante la prova CPTU-C1.

Campione disturbato	Campione indisturbato	Z_s [m]	D_{50} [mm]	$\phi_{<0,005}$ [%]	γ [kN/m ³]	c' [kPa]	ϕ [°]	C_u [kPa]
CR1		1,50-1,95	0,0045	40	-	-	-	-
	C1	2,40-2,90		-	-	12,7	26,9	-
CR2		3,00-3,20	0,0084	45	-	-	-	-
	SH1	4,00-4,50	0,0019	25	18,49	21,3	22,1	-
CR4		6,00-6,45	0,024	28	-	-	-	-
	SH2		0,011	36	17,56	4,1	30,3	-
	SH3	10,00-10,50	0,0056	45	18,2	-	-	47,4
				-	-	-	-	-
CR8		12,00-12,45	0,015	-	19,1	-	-	88,7

Campione disturbato	Campione indisturbato	Z_s [m]	D_{50} [mm]	$\phi_{<0,005}$ [%]	γ [kN/m ³]	c' [kPa]	ϕ [°]	C_u [kPa]
CR9		15,00-15,45	0,0013	0	-	-	-	-
	SH4		0,0059	50	-	-	-	-
CR11		21,50-21,90	0,22	13	-	-	-	-
CR12		24,00-24,5	0,004	-	-	-	-	-
CR13		27,00-27,45	0,064	-	-	-	-	-

Tab. "Risultati prove di laboratorio"

Prendendo nota dei risultati di laboratorio appena riportati si procede determinando degli intervalli di valore di progetto da assegnare alle proprietà meccaniche inserite in tabella.

Tenendo inoltre presente la forte eterogeneità dei terreni, la presenza di regolari e sottili lenti di sabbia come evidenziato dalle prove CPT e la presenza di falda idrica a ridosso del piano di campagna si è deciso di indicare degli intervalli di valori cautelativi vista l'assenza di campioni indisturbati per alcuni strati di progetto. I parametri meccanici considerati sono il peso di volume naturale del terreno γ , l'angolo di resistenza a taglio ϕ e la coesione efficace c' .

z [m]	Litotipo	γ [kN/m ³]	c' [kPa]	ϕ [°]
0,00-5,50	Limo con argilla deb. Sabbiosa	17,50-18,50	4-12	22-26
5,50-8,50	Limo argilloso sabbioso	17,00-18,50	4-15	25-27
8,50-12,00	Alternanze Limo argilloso sabbioso e Sabbia limosa	18,00-19,00	4-10	24-26
12,00-18,00	Argilla con limo sabbiosa	18,00-19,50	4-10	26-28
18,00-30,00	Sabbia limosa o debolmente limosa	18,50-20,00	-	27-30

Tab. "Proprietà meccaniche"

Infine si utilizzano ulteriori dati derivanti dalla prova di penetrazione CPTU-C1 e dalla prova MASW eseguita nel sito di riferimento per determinare un intervallo di valori che possono assumere il modulo elastico E ed il modulo di taglio G per completare la caratterizzazione geotecnica.

Dalla prova CPTU-C1 si ha a disposizione un set di misure effettuate in sito durante lo svolgimento della prova che riguardano i primi 15 metri di terreno.

Dalla prova MASW invece abbiamo una serie di misurazioni ottenute durante lo svolgimento della prova che riguardano i primi 30 metri di terreno fino a determinare una misurazione per profondità più elevate.

Si riportano in figura le misurazioni descritte, per la prova CPTU-C1 indicate con le lettere E_s e G_0 i moduli elastici cercati mentre nella prova MASW sono indicati nella colonna E_y e G_0 . Entrambe le prove hanno riportato i valori in Mpa.

RIORGANIZZAZIONE DELLA VIABILITÀ DI ADDUZIONE
ALL'ACCESSO NORD DELL'INTERPORTO DI BOLOGNA

From depth To depth (m)	Thickness (m)	Permeability (m/s)	SPT (blows)	Cu (kPa)	Q _s (MPa)	Friction angle (°)	Cambridge modulus (MPa)	Shear modulus (MPa)	Un drained strength, S _u (kPa)	Un drained strength ratio	OCR	Unit weight (kN/m ³)
0.22	0.58	3.38E-07	10	50.0	0.0	0.0	38.8	55.1	188.0	3.8	17.4	19.8
0.80		(x1.97E-06)	(x1.1)	(x0.0)	(x0.0)	(x0.0)	(x6.7)	(x0.1)	(x20.5)	(x0.4)	(x2.7)	(x0.0)
0.80	1.32	9.19E-08	7.3	3.0	0.0	0.0	25.0	44.0	126.3	2.5	11.7	19.0
2.12		(x0.04E-08)	(x0.1)	(x0.0)	(x0.0)	(x0.0)	(x3.2)	(x0.1)	(x94.7)	(x0.3)	(x1.4)	(x0.0)
2.12	1.90	3.79E-08	4.9	2.0	0.0	0.0	14.5	30.0	75.0	1.4	6.3	19.0
4.02		(x0.79E-08)	(x0.1)	(x0.0)	(x0.0)	(x0.0)	(x2.0)	(x0.1)	(x6.6)	(x0.2)	(x0.0)	(x0.0)
4.02	0.62	2.59E-08	8.4	0.0	0.0	0.0	14.5	55.1	124.9	1.9	8.7	19.0
4.94		(x1.20E-08)	(x1.1)	(x0.0)	(x0.0)	(x0.0)	(x2.2)	(x7.2)	(x11.4)	(x0.1)	(x0.0)	(x0.0)
4.94	2.04	5.89E-08	7.3	3.0	0.0	0.0	22.5	43.1	111.0	1.4	6.5	19.0
6.98		(x7.20E-08)	(x1.1)	(x0.7)	(x0.0)	(x0.0)	(x4.7)	(x0.1)	(x10.0)	(x0.2)	(x1.0)	(x0.0)
6.98	1.50	1.49E-08	5.5	0.0	0.0	0.0	10.2	34.1	70.8	0.7	3.4	19.0
8.56		(x1.45E-08)	(x0.1)	(x0.0)	(x0.0)	(x0.0)	(x3.0)	(x4.1)	(x11.4)	(x0.1)	(x0.7)	(x0.0)
8.56	0.58	3.51E-08	6.7	4.0	0.0	0.0	15.7	40.1	93.2	0.9	4.1	19.0
9.14		(x6.24E-08)	(x1.1)	(x0.4)	(x0.0)	(x0.0)	(x9.0)	(x7.2)	(x33.4)	(x0.2)	(x1.4)	(x0.0)
9.14	3.06	5.27E-09	5.5	0.0	0.0	0.0	5.8	25.1	60.2	0.5	2.3	19.0
12.20		(x1.25E-08)	(x0.1)	(x0.0)	(x0.0)	(x0.0)	(x3.2)	(x4.4)	(x33.1)	(x0.1)	(x0.0)	(x0.0)
12.20	0.56	6.51E-09	8.1	0.0	0.0	0.0	12.7	53.0	94.7	0.7	3.2	19.0
12.76		(x0.70E-08)	(x1.1)	(x0.0)	(x0.0)	(x0.0)	(x4.0)	(x11.1)	(x10.0)	(x0.1)	(x0.0)	(x0.0)
12.76	0.58	2.99E-09	5.5	0.0	0.0	0.0	4.4	38.1	56.9	0.4	1.8	19.0
13.26		(x1.00E-08)	(x0.1)	(x0.0)	(x0.0)	(x0.0)	(x2.0)	(x0.1)	(x13.7)	(x0.1)	(x0.4)	(x0.0)
13.26	0.56	5.30E-09	8.1	0.0	0.0	0.0	13.5	59.1	100.9	0.7	3.1	19.0
13.82		(x0.40E-08)	(x0.1)	(x0.0)	(x0.0)	(x0.0)	(x1.0)	(x7.2)	(x7.5)	(x0.0)	(x0.2)	(x0.0)
13.82	0.78	3.72E-09	12.1	0.0	0.0	0.0	14.3	86.0	138.3	0.9	4.1	19.0
14.60		(x0.50E-08)	(x0.1)	(x0.0)	(x0.0)	(x0.0)	(x2.5)	(x5.2)	(x7.0)	(x0.0)	(x0.2)	(x0.0)
14.60	0.46	3.40E-09	11.1	0.0	0.0	0.0	10.3	82.1	121.8	0.8	3.5	19.0
15.06		(x1.29E-08)	(x0.1)	(x0.0)	(x0.0)	(x0.0)	(x2.2)	(x4.5)	(x7.0)	(x0.0)	(x0.2)	(x0.0)

Fig. "Risultati della prova CPTU-C1"

Strato n.	Profondità (m)	Spessore (m)	Vs (m/s)	VP (m/s)	Densità (kg/mc)	Poisson n	G0 [MPa]	Ed [MPa]	M0 [MPa]	Ey [MPa]
1	3.00	3.00	140.82	379.16	1800.00	0.41	35.69	258.77	211.18	101.37
2	8.00	5.00	194.52	442.14	1850.00	0.36	70.00	361.65	268.32	193.19
3	13.00	5.00	268.50	610.31	1900.00	0.34	136.96	707.71	525.07	378.05
4	21.00	8.00	341.84	730.89	1950.00	0.34	227.87	1041.69	737.87	619.81
5	30.00	9.00	414.30	885.81	2000.00	0.34	343.29	1569.32	1111.10	933.75
6	∞∞	∞∞	501.74	975.20	2050.00	0.34	516.07	1949.58	1261.19	1362.41

Fig. "Risultati della prova MASW"

z [m]	Litotipo	E [Mpa]		G [Mpa]		E _d [Mpa]	G _d [Mpa]
		MIN	MAX	MIN	MAX		
0,00-5,50	Limo con argilla deb. Sabbiosa	21,50	101,00	30,60	55,00	61,50-101	42,80-55
5,50-8,50	Limo argilloso sabbioso	34,00	193,00	34,50	70,00	113,5-193	52,00-70
8,50-12,00	Alternanze Limo argilloso sabbioso e Sabbia limosa	40,80	378,00	40,50	70,00	209-378	65-70
12,00-18,00	Argilla con limo sabbiosa	378,00	619,00	38,30	136,00	498,5-619	87-136
18,00-30,00	Sabbia limosa o debolmente limosa	619,00	933,00	86,50	343,00	776-933	215-343

Tab. "Intervalli di valore per i moduli elastici di progetto"

A valle di quanto elaborato si riporta per sintesi la tabella indicante la stratigrafia con gli intervalli di valore di progetto scelti per determinare i parametri meccanici dei terreni, concludendo così la caratterizzazione geotecnica per questo intervento.

z [m]	Litotipo	γ [kN/m ³]	C' _d [kPa]	φ _d [°]	C _{u,d} [kPa]	E _d [MPa]	G _d [MPa]
0,00-5,50	Limo con argilla deb. Sabbiosa	17,50-18,50	4-12	22-26	42-67	80-100	25-35
5,50-8,50	Limo argilloso sabbioso	17,00-18,50	4-15	25-27	53-64	150-195	35-70
8,50-12,00	Alternanze Limo argilloso sabbioso e Sabbia limosa	18,00-19,00	4-10	24-26	33-40	200-350	80-120
12,00-18,00	Argilla con limo sabbiosa	18,00-19,50	4-10	26-28	58-88	300-390	120-140
18,00-30,00	Sabbia limosa o debolmente limosa	18,50-20,00	-	27-30	78-87	650-850	250-300

Tab. "Tabella riassuntiva per i parametri meccanici di progetto"

Confrontando i valori ottenuti nelle due prove in sito si riporta una tabella con il valore minimo e massimo che possono assumere il modulo elastico E ed il modulo di taglio G all'interno della stratigrafia di progetto.

In maniera cautelativa, si individuano i valori di progetto del modulo elastico E_d e del modulo di taglio G_d rappresentati da un intervallo di valori dove l'estremo inferiore indica la media tra il minimo ed il massimo valore registrato mentre l'estremo superiore coincide col valore massimo registrato.

Infine mettendo a confronto le prove CPTU eseguite nei vari siti d'intervento con le prove CPT eseguite sul sito di intervento 3 si nota una similitudine delle curve evidenziando quindi che gli strati di terreno dei vari siti d'intervento sono molto simili. Si riportano di seguito le curve di confronto delle CPT dei vari siti con quelli dell'intervento 1.

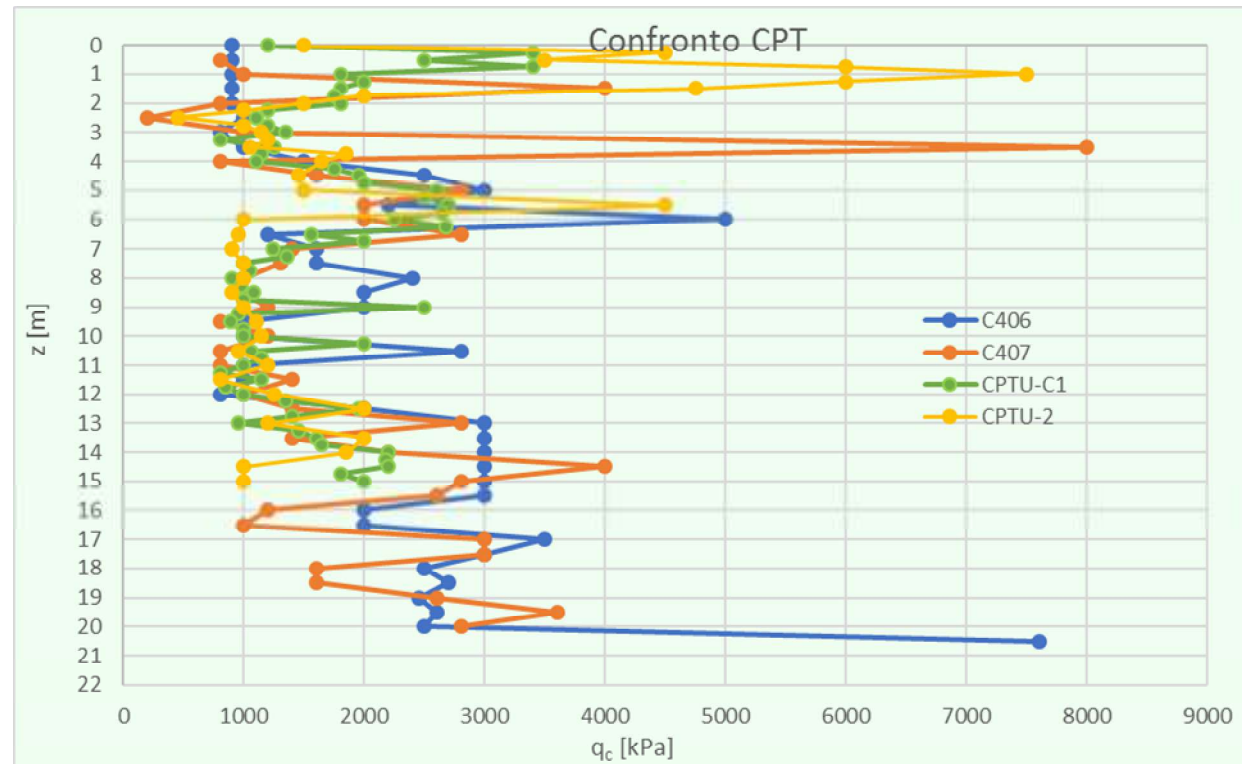


Fig. "Confronto tra le curve CPT dell'intervento 1 – intervento 3"

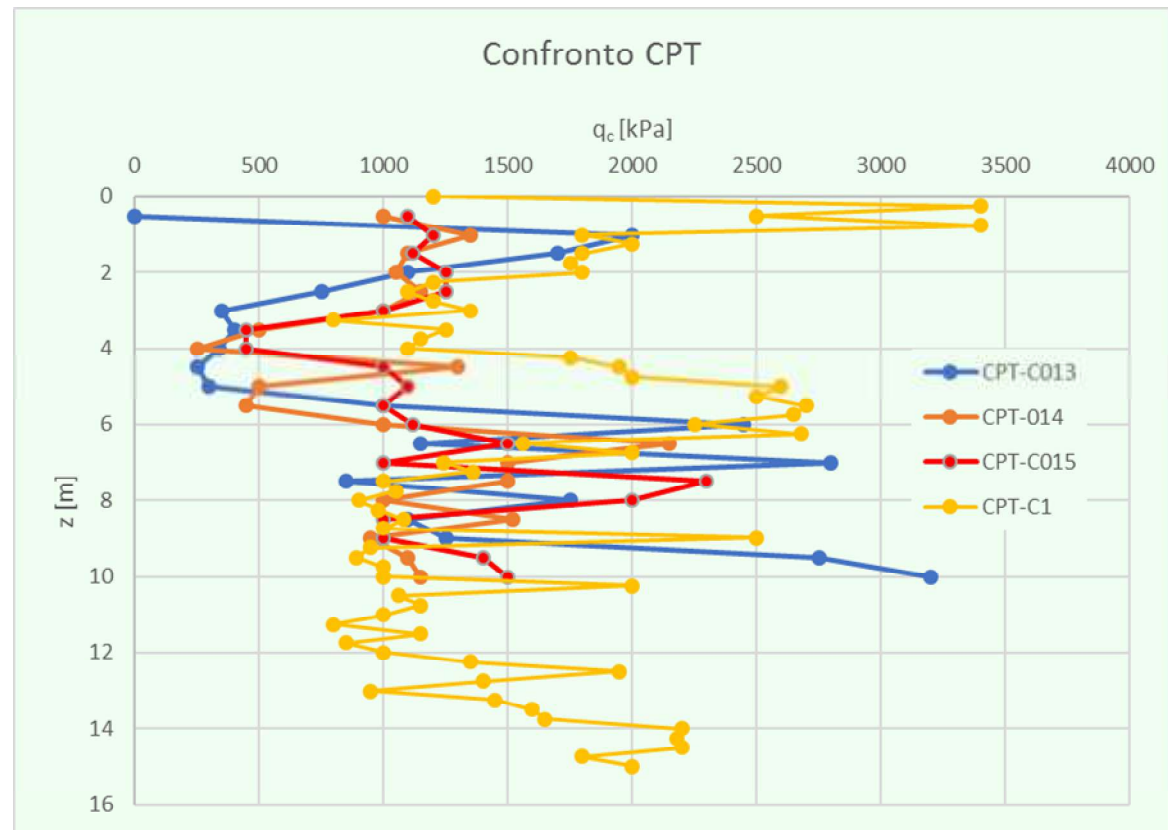


Fig.: "Confronto tra le curve CPT dell'intervento 2 – intervento 3"

4.1 Categoria sismica dei terreni e Accelerazione sismica di riferimento

4.1.1 Categoria di suolo

Sulla base dei risultati della prova MASW, la categoria sismica del terreno può ricondotta a suolo di tipo C, caratterizzato da onde di taglio (V_s), comprese tra 180m/s e 360m/s.

4.1.2 Accelerazione sismica

L'area è ubicata nel comune di San Giorgio di Piano in provincia di Bologna.

Le opere in progetto sono associate a una vita nominale (V_N) pari a 50anni e classe d'uso II ($CU=1$), la vita di riferimento (V_R) vale quindi 50anni.

In tabella sono riportati i parametri sismici su suolo rigido per il comune in esame secondo la classificazione sismica vigente.

Stato Limite	a_g	F_0	T_c
SLC (5% - 975 anni)	0.2122	2.52	0.28
SLV (10% - 475 anni)	0.1605	2.57	0.28
SLD (50% - 50anni)	0.0587	2.51	0.27
SLO (81% - 30anni)	0.0475	2.47	0.26

Tab. "Azioni sismiche di riferimento"

Il fattore di amplificazione locale è pari a $S_s=1.5$

Il fattore di amplificazione topografica è $S_T=1.0$

$S=S_s \times S_T=1.5$

4.2 Considerazioni sul fenomeno della liquefazione

Si riportano le condizioni che potrebbe comportare la possibilità dell'instaurarsi del fenomeno della liquefazione.

Le condizioni predisponenti del terreno sono:

- profondità dello strato potenzialmente liquefacibile < 15-20 m dal p.c.
- profondità della falda < 5 m
- densità relativa $Dr < 60\%$
- diametro medio $0.02 \text{ mm} < D_{50} < 2 \text{ mm}$
- frazione di fini (diametro < 0.005 mm) < 15%

Le condizioni scatenanti che riguardano le caratteristiche dell'azione sismica sono:

- magnitudo > 5.5
- PGA > 0.15 g
- durata > 15-20 sec

Dalle prove condotte in sito, si può definire la presenza della falda fin dai primi metri di profondità.

Il sito di riferimento può essere descritto come un deposito di limo ed argilla alternati da sottili lenti di terreno sabbioso che si presentano ben distribuiti lungo tutta la profondità, il coefficiente di uniformità (U_c) risulta maggiore di 3.5. Nella figura seguente sono indicate le curve granulometriche associate a campioni rimaneggiati e non prelevati nei primi 20m di profondità (oltre i 20m i fenomeni di liquefazioni non si istaurano) e confrontati con il fuso granulometrico per terreni potenzialmente liquefacibili con $U_c > 3.5$.

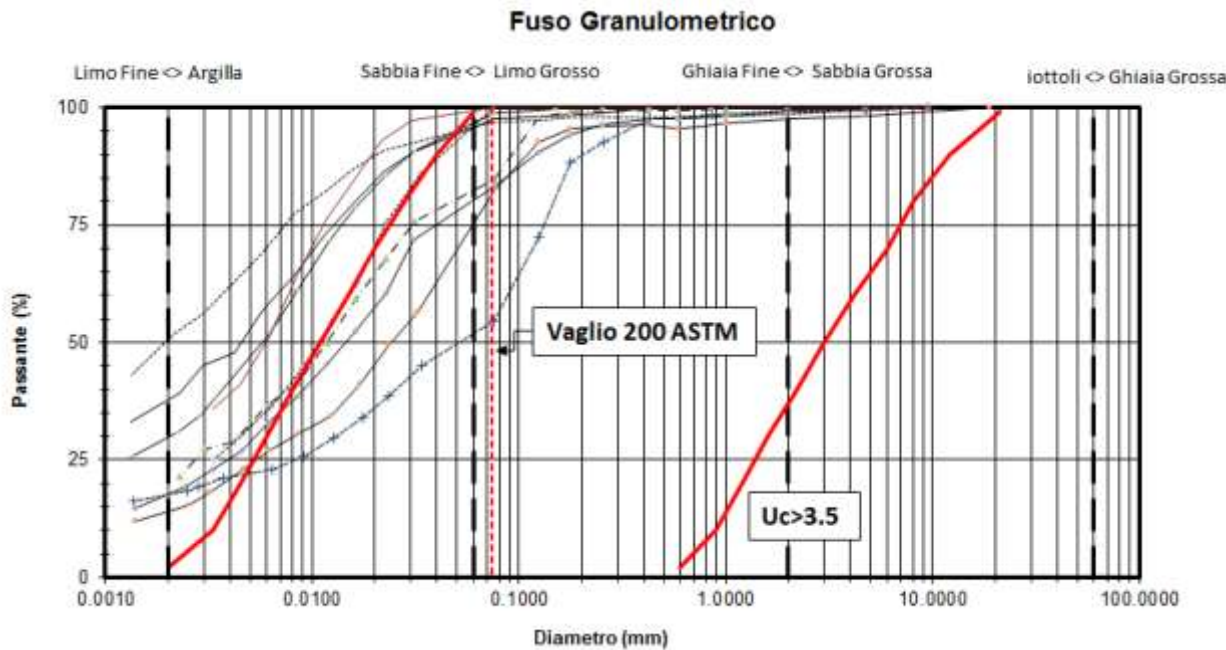


Fig. – Fuso granulometrico di terreni potenzialmente liquefacibili ($U_c > 3.5$) figura 7.11.1 NTC2018 e curve granulometriche

Alcune curve granulometriche si presentano inclusi nell'intervallo di cautela indicato, ma sono caratterizzati da percentuali di materiale passante al vaglio ASTM200 sempre superiori al 15%. Inoltre, questi strati di terreno non assumono valori di spessore importanti rimanendo ben confinati all'interno degli altri litotipi presenti.

Nel seguito si riporta l'analisi del potenziale alla liquefazione per le prove SPT a disposizione in corrispondenza delle 4 curve granulometriche interne al fuso di normativa.

Si premette che i valori di SPT associati sono molto bassi, affetti dalla elevata quantità di materiale fine (valori di passante al vaglio ASTM200 > 50%).

L'analisi è stata eseguita considerando:

Magnitudo di riferimento 6.14

dedotta dalle indicazioni delle linee guida della Protezione Civile "Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica. L'area ricade nella zona 913 del modello sismogentico ZS9

Nome ZS	Numero ZS	M_{WMAX}
Colli Albani, Etna	922, 936	5.45
Ischia-Vesuvio	928	5.91
Altre zone	901, 902, 903, 904, 907, 908, 909, 911, 912, 913, 914, 916, 917, 920, 921, 926, 932, 933, 934	6.14
Medio-Marchigiana/Abruzzese, Appennino Umbro, Nizza Sanremo	918, 919, 910	6.37
Friuli-Veneto Orientale, Garda-Veronese, Garfagnana-Mugello, Calabria Jonica	905, 906, 915, 930	6.60
Molise-Gargano, Ofanto, Canale d'Otranto	924, 925, 931	6.83
Appennino Abruzzese, Sannio - Irpinia-Basilicata	923, 927	7.06
Calabria tirrenica, Iblei	929, 935	7.29

Tab. "Valori di M_{WMAX} per le zone sismogenetiche di ZS9"

L'accelerazione $a_g/g = 15 \times 0.1605 = 0.241$

Densità relative del materiale granulare (D_R)=40%

FS=1.25

I risultati mostrano come in tutti casi il valori di FS siano ben superiori al valore minimo assunto.

Per questo motivo, basandoci sulle informazioni sismiche del sito, sulla natura dei terreni coinvolti e sul basso grado di disturbo delle opere realizzate sul terreno naturale presente, si può escludere la formazione di fenomeni di liquefazione diffusi durante un evento sismico.

T. LIQUEFAZIONE

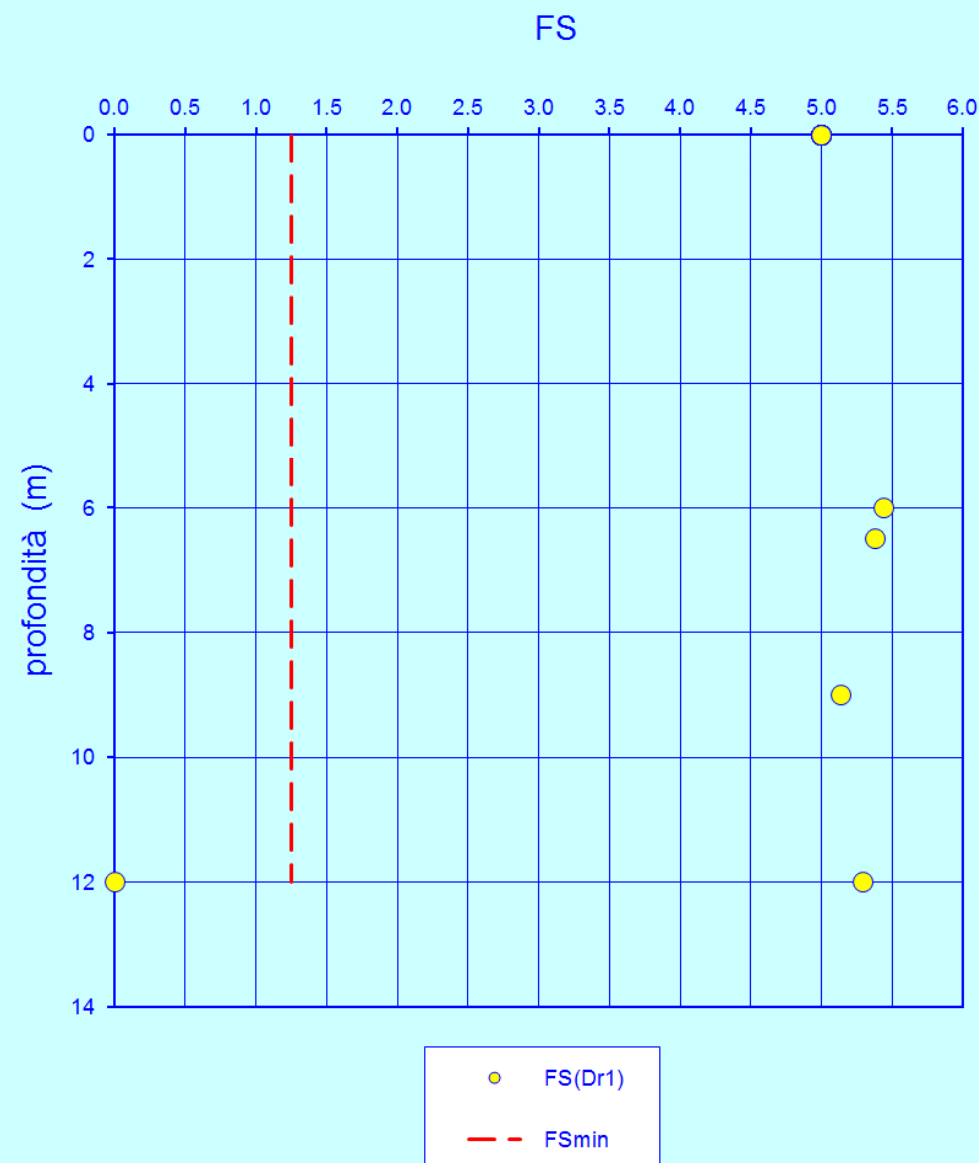
RISULTATI

profondità (m)	σ (kPa)	σ' (kPa)	N _{SPT} (colpi/piede)	(N1) ₆₀ (colpi/piede)	rd	CSR
6.0	114.0	114.0	4	3	0.95	0.149
6.5	123.5	123.5	6	4	0.95	0.149
9.0	171.0	171.0	4	2	0.93	0.146
12.0	228.0	228.0	5	2	0.85	0.134
0.0	228.0	228.0	0	0	1.00	0.156
0.0	228.0	228.0	0	0	1.00	0.156
0.0	228.0	228.0	0	0	1.00	0.156
0.0	228.0	228.0	0	0	1.00	0.156
0.0	228.0	228.0	0	0	1.00	0.156
0.0	228.0	228.0	0	0	1.00	0.156
0.0	228.0	228.0	0	0	1.00	0.156
0.0	228.0	228.0	0	0	1.00	0.156
0.0	228.0	228.0	0	0	1.00	0.156
0.0	228.0	228.0	0	0	1.00	0.156
0.0	228.0	228.0	0	0	1.00	0.156
0.0	228.0	228.0	0	0	1.00	0.156
0.0	228.0	228.0	0	0	1.00	0.156
0.0	228.0	228.0	0	0	1.00	0.156
0.0	228.0	228.0	0	0	1.00	0.156
12.0	228.0	228.0	0	0	0.85	0.134

profondità (m)	passante 200 (%)	CRR _{7.5}	MSF	DR1	k _σ	FS ₁
6.0	95.4	0.500	1.67	41	0.97	5.44
6.5	95.4	0.500	1.67	41	0.96	5.37
9.0	54.0	0.500	1.67	58	0.86	4.90
12.0	94.1	0.500	1.67	41	0.84	5.27
0.0	0.0	0.000	1.67	0	0.85	>5
0.0	0.0	0.000	1.67	0	0.85	>5
0.0	0.0	0.000	1.67	0	0.85	>5
0.0	0.0	0.000	1.67	0	0.85	>5
0.0	0.0	0.000	1.67	0	0.85	>5
0.0	0.0	0.000	1.67	0	0.85	>5
0.0	0.0	0.000	1.67	0	0.85	>5
0.0	0.0	0.000	1.67	0	0.85	>5
0.0	0.0	0.000	1.67	0	0.85	>5
0.0	0.0	0.000	1.67	0	0.85	>5
0.0	0.0	0.000	1.67	0	0.85	>5
0.0	0.0	0.000	1.67	0	0.85	>5
0.0	0.0	0.000	1.67	0	0.85	>5
0.0	0.0	0.000	1.67	0	0.85	>5
0.0	0.0	0.000	1.67	0	0.85	>5
0.0	0.0	0.000	1.67	0	0.85	>5
0.0	0.0	0.000	1.67	0	0.85	>5
12.0	0.0	0.000	1.67	0	0.85	0.00

H_f	quota del letto dello strato
γ	peso di volume naturale
γ'	peso di volume efficace
N_{SPT}	numero di colpi in prova SPT (colpi/piede)
passante 200	contenuto fini - passante al vaglio n.200 ASTM
DR_1	densità relativa - serie 1
DR_2	densità relativa - serie 2

T. LIQUEFAZIONE



T. LIQUEFAZIONE

VALUTAZIONE DI CRR_{7.5}

Le correlazioni di base, riportate nella FIG.1, si riferiscono a:

- terremoti di magnitudo M=7.5
- sabbie pulite e sabbie con percentuale di fine (passante al vaglio n.200 ASTM) comprese fra il 5% e il 35%
- profondità dal piano campagna non superiori a 15 m e falda prossima al piano campagna.

In **ascisse** sono riportati i valori di N_{SPT} , corretti per tener conto delle pressioni verticali efficaci agenti alla profondità di prova e del livello di energia trasmesso al campionario nel corso della prova. Tali valori sono convenzionalmente definiti con il simbolo $(N_1)_{60}$

In **ordinata** è riportato il rapporto (τ_m/σ'_{vo}) che esprime le sollecitazioni di taglio cicliche equivalenti generate dal sisma, normalizzate alla pressione geostatica verticale efficace.

Le curve limite separano il dominio di non liquefazione (in basso a destra) da quello di liquefazione (in alto a sinistra); esse forniscono il valore limite del rapporto τ_m/σ'_{vo} in funzione delle caratteristiche granulometriche del materiale e del valore $(N_1)_{60}$, ovvero del grado di addensamento del deposito. Per valore limite del rapporto τ_m/σ'_{vo} si intende quel valore che, per l'assegnato numero di cicli corrispondente a terremoti di Magnitudo 7.5, è in grado di generare nell'elemento generico fenomeni di liquefazione.

VALUTAZIONE DI CSR

Lo sforzo di taglio ciclico equivalente, normalizzato alla pressione verticale efficace esistente in sito, generato dal terremoto di progetto alla generica profondità z è stimato mediante l'espressione seguente:

$$\tau_m / \sigma'_{vo} = 0.65 (a_{max}/g) (\sigma_{vo}/\sigma'_{vo}) r_d$$

- a_{max} = accelerazione massima a livello piano campagna
 g = accelerazione di gravità
 σ_{vo} = pressione geostatica verticale totale alla generica profondità z
 σ'_{vo} = pressione geostatica verticale efficace alla generica profondità z
 r_d = $(1-0.00765 z)$ per $z \leq 9.15$ m **Liao and Whitman [1986b]**
 $(1.174 - 0.0267 z)$ per $9.15 < z \leq 23$ m

FATTORI CORRETTIVI DI $(N_1)_{SPT}$

$$(N_1)_{60} = N_{SPT} C_N C_E C_B C_R$$

- C_N = $(P_a/\sigma'_{vo})^{0.5} \leq 1.7$ **Liao and Whitman [1986a]**
 $2.2 / (1.2 + \sigma'_{vo}/P_a) \leq 1.7$ **Kayen et al. [1992]**
 P_a = reference pressure ≈ 100 kPa
 C_E = coefficiente correttivo legato all'efficienza del dispositivo SPT, variabile tra 0.6-1.0
 C_B = coefficiente correttivo funzione del diametro (d) del foro di sondaggio:
 $d < 115$ mm $C_E = 1.0$ $d = 150$ mm $C_E = 1.05$ **Robertson and Wride [1998]**
 $d < 200$ mm $C_E = 1.15$
 C_R = coefficiente correttivo funzione della lunghezza (L) delle aste:
 $L < 3$ m $C_R = 0.75$ $L = 3-4$ m $C_R = 0.80$ $L = 4-6$ m $C_R = 0.85$
 $L = 6-10$ m $C_R = 0.95$ $L = 10-30$ m $C_R = 1.00$ **Robertson and Wride [1998]**

T. LIQUEFAZIONE

FIG.1 Relazione fra sforzo ciclico equivalente, normalizzato alla pressione geostatica verticale efficace, capace di indurre liquefazione e NSPT corretto

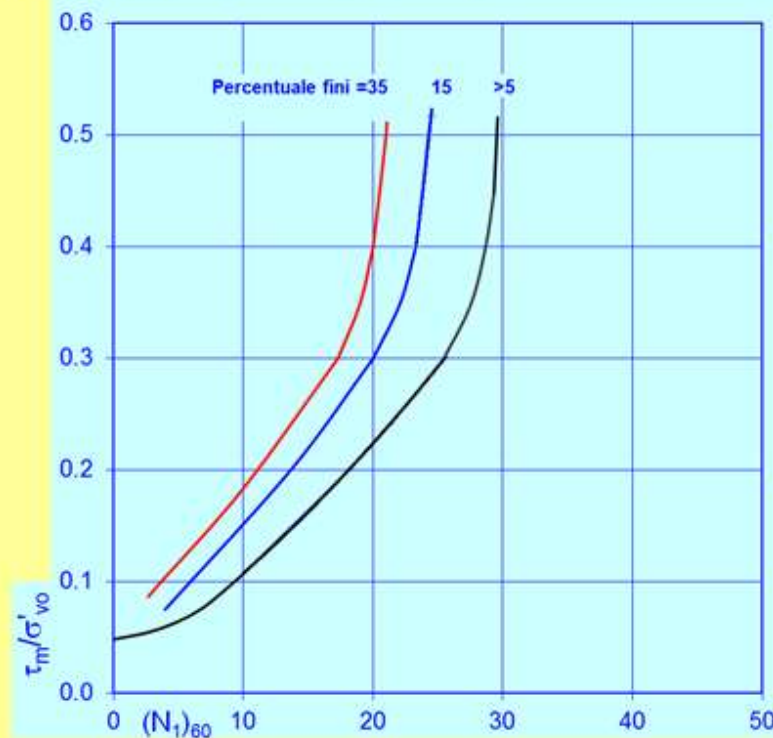
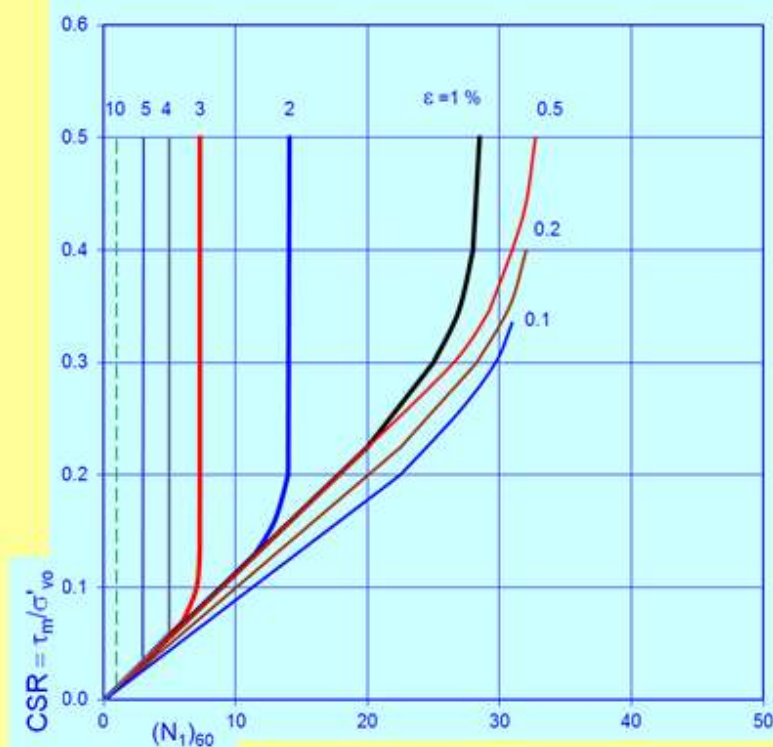


FIG.2 Relazione fra sforzo ciclico equivalente, normalizzato alla pressione geostatica verticale efficace, capace di indurre liquefazione, $(N_1)_{SPT}$ e ε_v , per sabbie pulite e per terremoti di magnitudo $M=7.5$



T. LIQUEFAZIONE

BIBLIOGRAFIA

- **ANDRUS R.D., STOKOE K.H. [1997]**
"Liquefaction resistance based on shear wave velocity"
Proc. NCEER Workshop on evaluation of liquefaction resistance of soils, Nat. Ctr. for Earthquake Engrg. Res., State University of New York at Buffalo
- **AMBRAYSES N.N. [1988]**
"Engineering seismology"
1st Mallet-Milne lecture, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, vol.17, n°1
- **HYNES M.E., HOLSEN R.S. [1999]**
"Influence of confining stress on liquefaction resistance"
Proc. Int. Workshop on Phys. And Mech. Of Soil Liquefaction, Balkema, Rotterdam, The Netherlands
- **IDRISS I.M.. [1990]**
"Response of soft soil sites during earthquakes"
Proc. H. Bolton Seed memorial Symposium, Vol.2, BiTechPublishers, LTD, Vancouver
- **ISHIHARA K., KOKUSHO T., SILVER M.L. [1989]**
"Earthquakes: Influence of local conditions on seismic response - state of the art report: Recent developments in evaluating liquefaction characteristics of local soils"
General report, Discussion Session 27, XII ICMSSE, vol.4, Rio de Janeiro
- **KAYEN R.E. et al [1992]**
"Evaluation of SPT CPT and shear wave-based methods for liquefaction potential assesment using Loma Prieta data"
Proc. 4th Japan-U.S. Workshop on Earthquake-Resistant Des. Of Life-line Fac. And Countermeasures for Soil Liquefaction, Vol.1
- **ROBERTSON P.K., WRIDE C.E. [1998]**
"Evaluating cyclic liquefaction potential using the cone penetration test"
Can. Geotechnical Journal, Ottawa ,35
- **SEED H.B., IDRISS I.M. [1971]**
"Simplified procedures for evaluating soil liquefaction potential"
Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering - vol.97, n°9
- **SEED H.B., IDRISS I.M. [1982]**
"Ground motions and soil liquefaction during earthquakes"
Engineering monographs on earthquake criteria - Structural design and strong motion records - Earthquake Engineering Research Institute, Berkeley, California
- **SEED H.B., IDRISS I.M., ARANGO I. [1983]**
"Evaluation of liquefaction potential using field performance data"
Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering - vol. 109, GT3
- **SEED H.B., TOKIMATSU K., HARDER L.F., CHUNG R.M. [1985]**
"Influence of SPT procedures in soil liquefaction resistance evaluations"
Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering - vol. 111, n°. 12
- **SEED H.B., DE ALBA P. [1986]**
"Use of SPT and CPT tests for evaluating the liquefaction resistance of sands"
proceedings of In-situ '86, Virginia Tech., Blacksburg, Geotechnical special Publication, n°6, ASCE
- **TOKIMATSU K., SEED H.B. [1987]**
"Evaluation of settlements in sands due to earthquake shaking"
Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering - vol. 113, n°. 8
- **TOKIMATSU K., YOSHIMI Y. [1983]**
"Empirical correlation of soil liquefaction based SPT N-value and fines content"
Soils and Foundations, vol.23, n.4
- **YOUNG T.L. et al. [2001]**
"Liquefaction Resistance of soils: Summary Report from the 1996 NCEER and 1988 NCEER/NSF Workshop on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils"
Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering - vol. 127, n°. 10, October

5 IDRAULICA

Per gli aspetti idraulici riguardanti la determinazione del tempo di corrivazione per il dimensionamento degli elementi di convogliamento (collettori, embrici, ecc.), e l'invarianza idraulica si rimanda a quanto esplicitato in maniera dettagliata nell'elaborato IDR0010 - *“Relazione idrologico-idraulica”*.