

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



U.O. PROGETTAZIONE FUNZIONALE ED ESERCIZIO

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA

RADDOPPIO DECIMOMANNU-VILLAMASSARGIA

ANALISI MULTICRITERIA

SCALA:

-

COMMESSA LOTTO FASE ENTE TIPO DOC. OPERA/DISCIPLINA PROGR. REV.

RR0P 00 F 16 RG EF0005 001 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione esecutiva	G. Crisconio	Aprile 2022	S. Nardoni	Aprile 2022	T. Paoletti	Aprile 2022	P. Rivoli Marzo 2023
		G. Argiolas		F. Martire				
B	Emissione esecutiva	G. Crisconio	Marzo 2023	S. Nardoni	Marzo 2023	T. Paoletti	Marzo 2023	
				F. Martire				

File: RR0P00F16RGEF0005001B

n. Elab.:

INDICE

1	PREMESSA.....	4
2	SCOPO DEL DOCUMENTO.....	8
3	ELEMENTI COSTITUTIVI DELL'ANALISI MULTICRITERIA: IL METODO "PROMETHEE".....	9
4	ANALISI MULTICRITERIA TRATTA 1: DECIMOMANNU.....	12
4.1	DESCRIZIONE DELLE IPOTESI PROGETTUALI ALTERNATIVE.....	12
4.1.1	<i>Alternativa 1A</i>	12
4.1.2	<i>Alternativa 1B</i>	13
4.2	ANALISI DI CONFRONTO.....	15
4.2.1	<i>Categorie, criteri ed indicatori di valutazione</i>	15
4.3	ELEMENTI DI CONFRONTO.....	17
4.3.1	<i>Categoria: COMPLESSITÀ INFRASTRUTTURALE</i>	17
4.3.2	<i>Categoria: SOSTENIBILITÀ AMBIENTALE</i>	20
4.3.3	<i>Categoria: EFFICACIA TRASPORTISTICA</i>	34
4.3.4	<i>Categoria: REALIZZAZIONE ED ECONOMIA DEL PROGETTO</i>	35
4.4	ASSEGNAZIONE DEI PESI E MATRICE DI VALUTAZIONE.....	37
4.5	RISULTATI ANALISI MULTICRITERIA.....	42
4.6	ANALISI DI SENSITIVITÀ.....	45
5	ANALISI MULTICRITERIA TRATTA 3: SILIQUA.....	48
5.1	DESCRIZIONE DELLE ALTERNATIVE PROGETTUALI.....	48
5.1.1	<i>Alternativa 3A</i>	48
5.1.2	<i>Alternativa 3B</i>	49
5.1.3	<i>Alternativa 3C</i>	50
5.2	ANALISI DI CONFRONTO.....	51

5.2.1	<i>Categorie, criteri ed indicatori di valutazione</i>	51
5.3	ELEMENTI DI CONFRONTO	54
5.3.1	<i>Categoria: COMPLESSITÀ INFRASTRUTTURALE</i>	54
5.3.2	<i>Categoria: SOSTENIBILITÀ AMBIENTALE</i>	58
5.3.3	<i>Categoria: EFFICACIA TRASPORTISTICA</i>	73
5.3.4	<i>Categoria: REALIZZAZIONE ED ECONOMIA DEL PROGETTO</i>	74
5.4	ASSEGNAZIONE DEI PESI E MATRICE DI VALUTAZIONE	76
5.5	RISULTATI ANALISI MULTICRITERIA.....	80
5.6	ANALISI DI SENSITIVITÀ	83
6	CONCLUSIONI	86

1 PREMESSA

Il progetto del Raddoppio ferroviario Decimomannu – Villamassargia rientra tra le opere del Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza.

Il progetto del Raddoppio ferroviario Decimomannu – Villamassargia, si articola in due fasi funzionali, la prima che consiste nel raddoppio da Decimomannu a Siliqua, la seconda da Siliqua a Villamassargia, per uno sviluppo complessivo di circa 29 km.

Il CVI del progetto di investimento è stato stimato pari a 230 milioni di € di cui 130 milioni di € per la 1° fase di raddoppio da Decimomannu a Siliqua e 100 milioni di € per la 2° fase di raddoppio da Siliqua a Villamassargia.

Il finanziamento attualmente disponibile è pari a 130 milioni di € a valere su risorse del Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza che impongono stringenti vincoli alle tempistiche di attuazione dell'intervento, in particolare in merito alla data di conclusione lavori. Il raddoppio così come concepito dalla committenza, una volta completo, creerà le condizioni per un cadenzamento a 15' dei collegamenti regionali Villamassargia – Cagliari.



Figura 1 - Raddoppio Decimomannu – Villamassargia

In precedenza, Italferr ha effettuato studi approfonditi sull'intera tratta, e il risultato è che il tracciato non può essere sviluppato in totale affiancamento alla linea esistente a causa di forti

vincoli al contorno. Affinché vengano superati questi vincoli, il costo dell'intera opera, risulta circa quattro volte superiore rispetto all'importo inizialmente finanziato, specificato dalla Committenza in fase di avvio del progetto.

Pertanto, la Committenza ha chiesto di studiare il presente progetto suddiviso in quattro tratte, realizzabili separatamente, al fine di rientrare con una tratta all'interno dell'importo finanziato dal PNRR e una seconda tratta all'interno di altri fondi a disposizione (PNC).

Nel dettaglio, l'intervento è stato suddiviso in quattro tratte.

Per due Tratte sono state analizzate alcune alternative progettuali comprendenti delle varianti plano-altimetriche, per le quali sono state sviluppate due Analisi multicriterie per determinare la soluzione progettuale giustificata.

Per le altre due Tratte, non sono state rilevate alternative perseguibili, pertanto, non sono state sviluppate le relative Analisi Muticriteria. Di seguito viene riportata una breve descrizione delle quattro tratte.

Scopo del presente elaborato è riportare le Analisi Multicriterie delle due Tratte sopracitate con i rispettivi risultati.



Figura 2 - Tratte di progetto

- Tratta 1 (oggetto di AMC) – Raddoppio Decimomannu – Villaspeciosa:

L'alternativa 1A (tratto magenta) prevede che il tracciato si sviluppi per una lunghezza di circa 3,6 km parallelamente alla linea storica, ma comunque in variante; mentre l'alternativa 1B (tratto ciano) prevede un tracciato che si discosta dalla linea storica e si sviluppa più a sud.

- Tratta 2 – Raddoppio Villaspeciosa – abitato di Siliqua:

L'ipotesi prevede un raddoppio in affiancamento alla LS in variante altimetrica che si sviluppa per una lunghezza di circa 8 km dopo la fermata di Villaspeciosa e prima della stazione di Siliqua.

- Tratta 3 (oggetto di AMC) – Raddoppio Siliqua (i) – Punto intermedio (Nuovo P.C.):

L'alternativa 3A (tratto magenta) prevede che il tracciato si sviluppi in affiancamento e in variante altimetrica (completamente in viadotto) con lunghezza pari a 11,2 km. In conseguenza della modifica della livelletta in ingresso e in uscita da Siliqua, al fine di garantire la compatibilità idraulica dell'intervento, si rende necessario il rifacimento completo della stazione in sede per prevederne la modifica altimetrica.

L'alternativa 3B (tratto ciano) e l'alternativa 3C (tratto rosso) si discostano verso nord rispetto alla LS e si sviluppano per una lunghezza di circa 11,9 km a monte dell'abitato di Siliqua e prevedono, quindi, anche la delocalizzazione della stazione a monte del centro abitato. Queste due varianti sfruttano in misura diversa il corridoio infrastrutturale della adiacente strada statale SS130. In questa configurazione la linea è realizzata prevalentemente in rilevato. Queste configurazioni prevedono la delocalizzazione dell'attuale stazione di Siliqua, riubicandola a Nord.

- Tratta 4 – Raddoppio Punto Intermedio (Nuovo P.C.) – Villamassargia:

Raddoppio di lunghezza pari a circa 8 km su nuova sede a doppio binario che si discosta planimetricamente dalla storica di circa 10 m e realizzata su opera. Incluso nel perimetro dell'intervento il rifacimento della stazione di Villamassargia.

La revisione B del presente documento ha lo scopo di aggiornare l'indicatore costi a seguito di un adeguamento a tariffe RFI 2022 delle precedenti stime consegnate nella REV A.

2 SCOPO DEL DOCUMENTO

L'Analisi Multicriteria, oggetto del presente documento, rappresenta lo strumento di supporto per scegliere, fra diverse alternative, la soluzione che meglio si adatta agli obiettivi ricercando la soluzione "giustificata" ossia quella che, nel confronto basato su una molteplicità di indicatori, risulta più volte vincente rispetto alle altre alternative decisionali. Una piena rispondenza quindi al concetto di sostenibilità a 360°, ovvero di sostenibilità ambientale, sociale, tecnica, finanziaria, ecc.

Scopo del presente documento è quello di illustrare:


1. L' Analisi Multicriteria "Decimomannu": che identifica la soluzione progettuale giustificata tra le due alternative di progetto, inerente al raddoppio della Linea, analizzate per la tratta T1: una in stretto affiancamento alla Linea storica attualmente in esercizio (Alternativa 1A) e una in variante rispetto alla LS (Alternativa 1B).

Per la descrizione più approfondita delle alternative progettuali si rimanda al paragrafo 4.1;

2. L' Analisi Multicriteria "Siliqua": che identifica la soluzione progettuale giustificata tra le tre alternative di progetto, inerente al raddoppio della Linea, analizzate per la tratta T3: una in stretto affiancamento alla Linea storica attualmente in esercizio (Alternativa 3A) e le altre due in variante rispetto alla LS (Alternative 3B e 3C).

Per la descrizione più approfondita delle alternative progettuali si rimanda al paragrafo 5.1;

Nei successivi capitoli sono illustrati i dettagli della metodologia dell'Analisi Multicriteria adottata ed i risultati dell'applicazione della stessa per l'identificazione delle soluzioni finali giustificate tra le alternative individuate sulle tratte suddette.

	RADDOPPIO DECIMOMANNU VILLAMASSARGIA					
	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
ANALISI MULTICRITERIA	COMMESSA RR0P	LOTTO 00	CODIFICA F 16 RG	DOCUMENTO EF 00 05 001	REV. B	FOGLIO 9 di 88

3 ELEMENTI COSTITUTIVI DELL'ANALISI MULTICRITERIA: IL METODO "PROMETHEE"

L'Analisi Multicriteria è definibile come una struttura formale nella quale i risultati di diversi approcci, (ad es. tecnici, economici, sociali, ambientali) possono essere integrati ed utilizzati come strumento di supporto per scegliere, fra diverse alternative, la soluzione che meglio si adatta agli obiettivi e alle priorità dei decisori.

Pertanto, tutte le Analisi Multicriteria vengono svolte individuando ed inserendo in un modello decisionale i seguenti elementi fondamentali:

- un *obiettivo* o un *insieme di obiettivi* che rappresentano lo scopo generale da raggiungere con la decisione da attuare;
- un *decisore* o un *gruppo di decisori*, coinvolti nel processo di scelta. Il soggetto titolato o incaricato a prendere la decisione valutando i risultati della AMC deve essere chiaramente identificato. In mancanza di quest'ultimo la AMC si configura come analisi tecnica di tipo "orientativo" senza finalità decisionali.
- un *insieme di alternative decisionali* che rappresentano gli oggetti della valutazione e della scelta.
- un *insieme di criteri di valutazione* e relativi attributi o indicatori sulla base dei quali i decisori valutano le alternative.
- la *priorità fra i criteri individuati*: ad ogni criterio di valutazione viene assegnato un peso che è espressione dell'importanza di quest'ultimo rispetto agli altri (la somma dei pesi di tutti i criteri viene ovviamente a costituire il 100% dei pesi stessi). I pesi sono funzione delle priorità percepite da parte del decisore e possono quindi variare in funzione di esso.
- un *insieme di punteggi* che esprimono il valore dell'alternativa i-esima rispetto al criterio j-esimo e che costituiscono gli elementi di una matrice, detta matrice di valutazione. Sulla

base delle performance delle alternative rispetto ai criteri considerati, i diversi valori ottenuti vengono ricondotti, mediante valutazioni o formule matematiche, ad indici confrontabili (scala di normalizzazione). In talune metodiche l'aggregazione ponderata di questi ultimi consente di ottenere, infine, un ordinamento di preferenza. Metodiche più complesse si fondano viceversa sui confronti a coppie fra le alternative in relazione ai criteri giungendo, mediante diversi metodi elaborativi, a fornire ordinamenti di preferenza.

Fra i diversi metodi di AMC si è scelto di utilizzare il PROMETHEE (Brans e Vincke, 1985), metodo più complesso ma più efficace, riconosciuto dalla comunità scientifica internazionale.

Esso mira a costruire una relazione tra le alternative in esame, detta di surclassamento, attraverso il confronto a coppie su ogni singolo criterio per stabilire se una delle due è preferibile all'altra o se invece sono indifferenti. Nel caso in esame viene utilizzata per la costruzione di un ordine di preferenza (classificazione) di più alternative progettuali.

Il confronto a coppie tra soluzioni progettuali si realizza attraverso il set di indicatori di valutazione modellizzati con curve di preferenza. Queste curve sono il risultato di funzioni aventi come valore di input la misura fornita dall'indicatore.

L'utilizzo di dette funzioni risulta necessario al fine di rendere comparabili elementi di valutazione di tipo qualitativo e quantitativo. In particolare, gli indicatori di tipo quantitativo possono tra di loro divergere dal punto di vista dimensionale (unità di misura e ordini di grandezza). Le funzioni permettono dunque di ricondurre tutti gli elementi di valutazione ad una scala di normalizzazione.

Il confronto tra due alternative progettuali, in considerazione di un indicatore, sulla base della curva di preferenza ad esso associata, determina una relazione detta di surclassamento che fornisce indicazione su quale delle due alternative è vincente e quale di conseguenza perdente (una delle due surclassa l'altra) oppure se le due alternative risultano indifferenti (nessuna delle due surclassa l'altra).

Applicazione del metodo Promethee ed Analisi dei risultati

Il metodo Promethee utilizzato ai fini dell'Analisi Multicriteria perviene a due indici finali di calcolo: Positive Flow (Phi+) e Negative Flow (Phi-) e infine alla loro aggregazione Net Flow (Phi).

Tali indici esprimono la somma dei risultati dei confronti svolti fra ogni coppia di alternative relativamente a ciascun indicatore.

Il *Positive Flow* rappresenta la somma delle "vittorie" di una alternativa sulle altre mentre il *Negative Flow* quella delle sue "sconfitte".

Positive Flow e *Negative Flow* sono meglio definibili come indicatori di forza e debolezza, rappresentativi di quanto una alternativa domina (*Positive Flow*) le altre o è dominata (*Negative Flow*) dalle altre.

Il *Net Flow (Phi)* non è altro che il risultato aggregato dei due contributi attraverso il quale si giunge alla definizione del ranking finale.

Si ricorda che il metodo funziona su scale di normalizzazione che mirano a rendere comparabili i risultati relativi alle diverse categorie e specialistiche, che altrimenti risulterebbero non confrontabili per unità di misura ed ordini di grandezza.

4 ANALISI MULTICRITERIA TRATTA 1: DECIMOMANNU

Sono di seguito analizzate le due alternative di tracciato plano-altimetriche per la Tratta 1, relative al Raddoppio Decimomannu-Villaspeciosa.

4.1 Descrizione delle ipotesi progettuali alternative

Di seguito, si riporta una corografia delle alternative di tracciato per la Tratta 1.



Figura 3 – Tratta 1 Decimomannu-Villaspeciosa: varianti 1A e 1B

Di seguito si riporta una descrizione sintetica di ciascuna alternativa progettuale analizzata.

4.1.1 Alternativa 1A

L'alternativa 1A (tratto magenta in Figura 3) prevede che il tracciato si sviluppi per una lunghezza complessiva di circa 3,6 km parallelamente alla linea storica. La maggior parte dell'intervento si configura in variante rispetto a quest'ultima, per poi rientrare sul sedime esistente una volta superata l'attuale stazione di Villaspeciosa. Dei 3,6 km totali, circa 2,0 km sono previsti in viadotto, per motivi di compatibilità idraulica legati alla stretta interferenza della nuova linea con il Fluminimannu e relativi affluenti. Per tale motivo la pendenza della livelletta in uscita dalla stazione di Decimomannu è circa pari al 18 per mille, al fine di garantire da subito il franco idraulico minimo sulle opere in progetto.

Dato l'innalzamento della quota del piano ferro rispetto all'attuale, questa configurazione presenta un punto di interferenza critico consistente nell'incrocio con lo svincolo della strada provinciale SP03 nei pressi dell'attuale stazione di Villaspeciosa che andrebbe, di conseguenza, riprogettato per consentire il passaggio della linea ferroviaria. In tale condizione la fermata di Villaspeciosa risulta delocalizzata e ubicata più ad Ovest rispetto all'attuale, ovvero tra il nuovo svincolo della SP03 e la chiusura della variante sulla LS. A seguito del nuovo collegamento a doppio binario e dell'inserimento del quarto marciapiede di stazione tutto il PRG di impianto a Decimomannu dovrà essere rivisto.

Per l'alternativa 1A è riportato nella successiva Tabella 1 l'elenco delle viabilità interferite con le relative indicazioni in merito all'intervento di risoluzione previsto, ove necessario, nonché l'elenco delle nuove viabilità:

Tabella 1 – Interventi in viabilità per l'alternativa 1A

TRATTA	PK		RISOLUZIONE (SI/NO)	TIPOLOGIA DI INTERVENTO
1A	0+120	Adiacente Via Ponte Romano	SI	Complanare - affiancamento ferrovia
1A	0+450	Adiacente Via Ponte Romano - Sottopasso ferroviario esistente	NO	
1A	1+810	Strada sterrata	NO	
1A	1+920	SP3 - Scavalco SP90	SI	Cavalcaferrovia
1A	2+400	NV per delocalizzazione Staz. Villaspeciosa	SI	Nuova Viabilità

4.1.2 Alternativa 1B

L'alternativa 1B (tratto rosso in Figura 3) si sviluppa per una lunghezza complessiva di circa 3,8 km e prevede che il tracciato si discosti planimetricamente dalla linea storica già in uscita dalla stazione di Decimomannu, proseguendo per quasi tutta la sua estensione in completa variante, per poi rientrare sul sedime esistente superata l'attuale stazione di Villaspeciosa in analogia all'alternativa 1A.

L'alternativa in oggetto prevede anch'essa la delocalizzazione verso Siliqua della fermata di Villaspeciosa, ma determina un minore impatto sul territorio poiché consente di minimizzare l'interferenza con lo svincolo stradale della SP03, intercettando Via Stazione nella porzione più a sud e prevedendone lo scavalco in viadotto. Anche in questo caso circa 2,0 km di intervento sono previsti su opera per i motivi di compatibilità idraulica citati per la precedente alternativa 1A.

Analogamente, quindi, è prevista una pendenza della livelletta in uscita dalla stazione di Decimomannu pari al 18 per mille e la rivisitazione del PRG di stazione. L'alternativa 1B, in corrispondenza dello scavalco dell'argine sinistro del Fluminimannu, si sviluppa in stretta vicinanza (40 m circa) al sito archeologico del Ponte Romano Bingia Manna.

Per l'alternativa 1B è riportato nella successiva Tabella 2 l'elenco delle viabilità interferite con le relative indicazioni in merito all'intervento di risoluzione previsto, ove necessario, nonché l'elenco delle nuove viabilità:

Tabella 2 – Interventi in viabilità per l'alternativa 1B

TRATTA	PK		RISOLUZIONE (SI/NO)	TIPOLOGIA DI INTERVENTO
1B	0+120	Adiacente Via Ponte Romano	SI	Complanare - affiancamento ferrovia
1B	0+460	Adiacente Via Ponte Romano - Sottopasso ferroviario esistente	NO	
1B	1+120	Stradello privato area agricola	NO	
1B	1+150	Via Is Coras De Ponti	NO	
1B	1+720	Via Su Pixinali	NO	
1B	1+750	Stradello privato area agricola	NO	
1B	2+030	Via Stazione	SI	Complanare
1B	2+050	SP3 - Scavalco SP90	SI	Sottovia
1B	2+100	Stradello privato area agricola-case	SI	Complanare
1B	2+540	NV per delocalizzazione Staz. Villaspeciosa	SI	Nuova Viabilità

	RADDOPPIO DECIMOMANNU VILLAMASSARGIA					
	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
ANALISI MULTICRITERIA	COMMESSA RR0P	LOTTO 00	CODIFICA F 16 RG	DOCUMENTO EF 00 05 001	REV. B	FOGLIO 15 di 88

4.2 Analisi di confronto

4.2.1 Categorie, criteri ed indicatori di valutazione

Tutti i criteri e i relativi indicatori sono stati definiti in funzione del grado di approfondimento progettuale e delle informazioni settoriali disponibili in forma omogenea per tutto il territorio interessato e per le alternative di tracciato oggetto dello studio.

Nell'ambito della AMC condotta, le alternative progettuali sono state valutate relativamente alle seguenti quattro categorie:

1. Complessità infrastrutturale;
2. Sostenibilità ambientale;
3. Efficacia trasportistica (risultata simile per le alternative analizzate, pertanto esclusa nell'analisi multicriteria);
4. Realizzazione ed economia del progetto.

Ciascuna categoria è stata a sua volta suddivisa in criteri di valutazione per i quali sono stati definiti uno o più indicatori attraverso cui poter realizzare il confronto previsto dal metodo Promethee.

Di seguito si riporta lo schema di articolazione degli elementi di confronto definiti alla base dell'analisi.

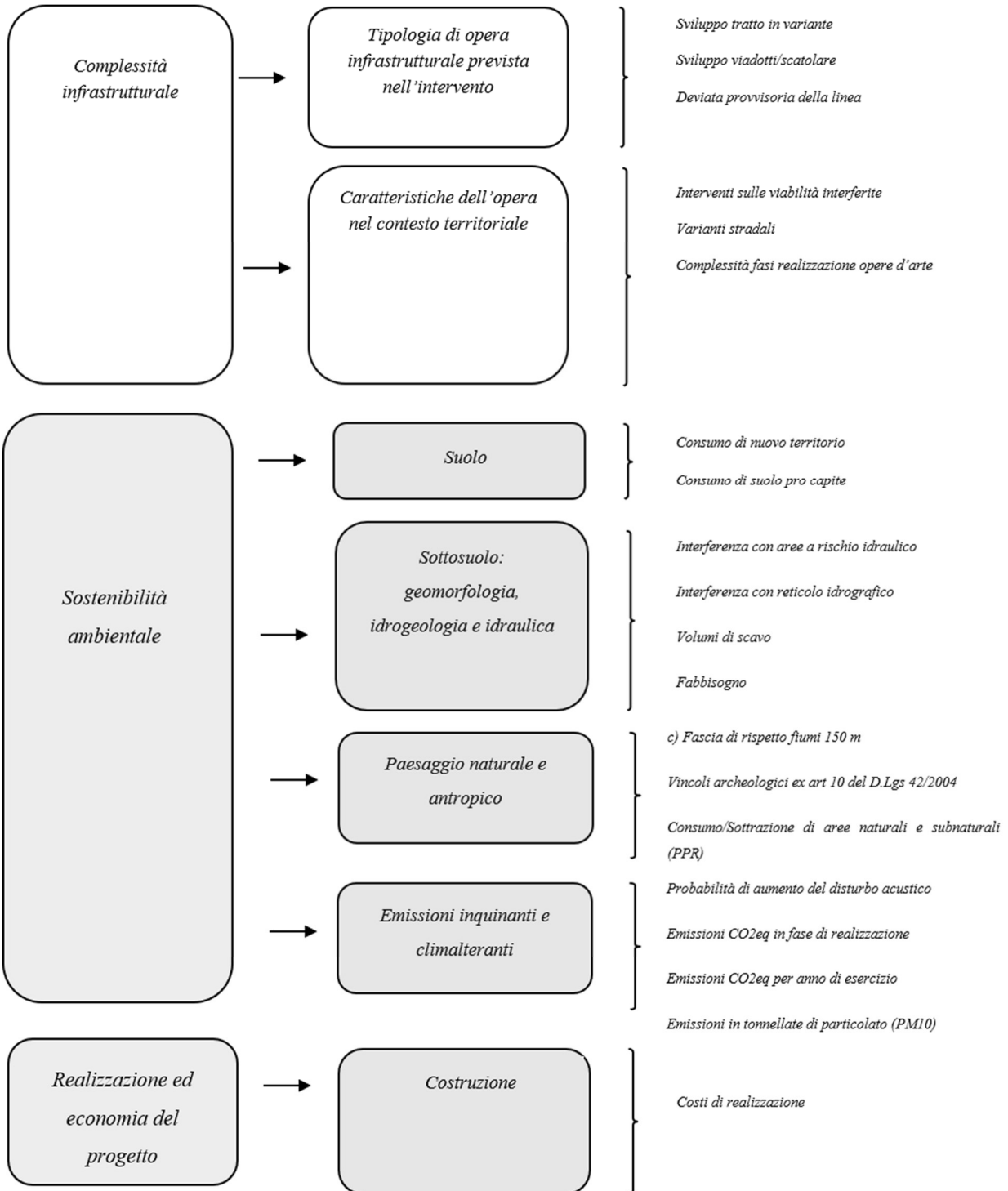



Figura 4 - Categorie, criteri e indicatori di valutazione per l'analisi multicriteria Decimomannu

	RADDOPPIO DECIMOMANNU VILLAMASSARGIA					
	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
ANALISI MULTICRITERIA	COMMESSA RR0P	LOTTO 00	CODIFICA F 16 RG	DOCUMENTO EF 00 05 001	REV. B	FOGLIO 17 di 88

4.3 Elementi di confronto

4.3.1 Categoria: COMPLESSITÀ INFRASTRUTTURALE

Con la categoria “*Complessità infrastrutturale*” si vuole raggruppare la valutazione relativa alle tipologie di opere infrastrutturali previste nell'intervento. La suddetta categoria si suddivide nei criteri “Tipologia di opera infrastrutturale prevista nell'intervento” e “Caratteristiche dell'opera nel contesto territoriale”.

Di seguito è riportata una descrizione degli indicatori suddivisi per criterio di valutazione.

Tipologia di opera infrastrutturale prevista nell'intervento

Nello specifico gli indicatori analizzati per il suddetto criterio sono:

1. ***Tratto in variante;***
2. ***Viadotto/scatolare;***
3. ***Deviata provvisoria linea.***

L'indicatore “***Tratto in variante***” è misurato come estensione dei tratti di linea su nuovo sedime.

L'indicatore “***Viadotto/scatolare***” è misurato in lunghezza di tratti di linea in viadotto/opera scatolare.

L'indicatore “***Deviata provvisoria linea***” è misurato come estensione del tratto di deviateda provvisoria necessario per consentire la realizzazione della nuova linea in variante altimetrica sull'ingombro del sedime esistente.

Nella seguente tabella è riportata la quantificazione degli indicatori considerati per il criterio “tipologia di opera infrastrutturale” per ciascuna soluzione progettuale.

	RADDOPPIO DECIMOMANNU VILLAMASSARGIA					
	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
ANALISI MULTICRITERIA	COMMESSA RR0P	LOTTO 00	CODIFICA F 16 RG	DOCUMENTO EF 00 05 001	REV. B	FOGLIO 18 di 88

Tabella 3 - Categoria "Complessità infrastrutturale" Criterio "Tipologia di opera infrastrutturale prevista nell'intervento"

CRITERIO		INDICATORE				ALTERNATIVE	
Definizione	Definizione	Metodo di valutazione	Unità di misura	F.ni di normalizzaz.	Alternativa 1A	Alternativa 1B	
1.1 Tipologia di opera infrastrutturale prevista nell'intervento	1.1.1	TRATTO IN VARIANTE rispetto ad un tracciato esistente (ferrovia-autostrada)	Estensione dei tratti su nuovo sedime	m	min	3050	3200
	1.1.2	VIADOTTO/SCATOLARE	Estensione tratti per tipologia di opere d'arte	m	min	1950	2100
	1.1.3	Deviate provvisoria linea	Estensione del tratto di deviate provvisoria	m	min	1200	0

Caratteristiche opera nel contesto territoriale

Nello specifico gli indicatori analizzati sono:

- 1. Interventi sulle viabilità interferite;**
- 2. Risoluzione interferenze con viabilità (Cavalcaferrovia – sottovia);**
- 3. Varianti stradali;**
- 4. Complessità fasi realizzazione delle opere d'arte.**

L'indicatore "**Interventi sulle viabilità interferite**" è espresso in termini percentuali ed indica il rapporto tra il numero di viabilità interferite per le quali risultano necessari interventi (cavalcaferrovia, sottopassi, deviazioni stradali) sul numero totale delle viabilità interferenti con la linea ferroviaria.

L'indicatore "**Risoluzione interferenze con viabilità (Cavalcaferrovia – sottovia)**" indica il numero di cavalcaferrovia che bisognerà realizzare per l'alternativa in esame.

- Per l'alternativa A in affiancamento all'esistente, il nuovo Cavalcaferrovia si trova alla pk 1+920.
- Per l'alternativa B in variante, il nuovo sottovia si realizzerà alla pk 2+050 sulla SP03 per consentire il passaggio della ferrovia superiormente.

	RADDOPPIO DECIMOMANNU VILLAMASSARGIA					
	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
ANALISI MULTICRITERIA	COMMESSA RR0P	LOTTO 00	CODIFICA F 16 RG	DOCUMENTO EF 00 05 001	REV. B	FOGLIO 19 di 88

Tale indicatore non è stato inserito nell'analisi, sebbene valutato e studiato, in quanto per le diverse alternative il numero di risoluzioni totali (Numero di cavalcavia e sottovia) risulta uguale, risultando quindi invariante ai fini dell'Analisi Multicriteria.

L'indicatore "**Varianti stradali**" è espresso in quantità e indica il numero di deviazioni stradali che bisogna prevedere per l'alternativa in esame.

- Sia per l'alternativa A che per la B la prima variante stradale, posta a pk 0+120, verrà realizzata per ripristinare la viabilità complanare esistente.
- Per l'alternativa A la seconda variante stradale sarà quella della modifica plano-altimetrica della SP03 a pk 1+920.
- Per l'alternativa B la seconda variante prevede uno spostamento della viabilità "Via della stazione" posta a pk 2+030 e la terza variante riguarda la viabilità adiacente alla SP03 a pk 2+060 per la riconnessione alla strada privata a pk 2+100.

L'indicatore "**Complessità fasi realizzazione delle opere d'arte**" è di tipo qualitativo ($M-B$ = medio-bassa; E = elevata) ed esprime il grado di complessità delle lavorazioni necessarie alla costruzione delle opere d'arte (e.g. ponti/viadotti). Ai fini della valutazione quantitativa dell'analisi, i parametri qualitativi sono stati considerati con i seguenti valori: $M-B = 0.5$; $E = 1$.

- Per l'alternativa A in affiancamento all'esistente, la complessità elevata delle lavorazioni deriva proprio dalla vicinanza alla linea storica; ciò richiederà la realizzazione di opere provvisorie di maggiore rilevanza, specialmente in presenza di fasizzazione e/o per garantire l'esercizio ferroviario.
- Per l'alternativa B in variante, le lavorazioni necessarie per la realizzazione delle opere d'arte non sono subordinate a particolari vincoli di fasizzazione e/o di esercizio ferroviario. Pertanto, la relativa complessità può ritenersi medio-bassa.

L'indicatore di tipo qualitativo, per essere inserito nel software specialistico, deve essere tradotto in termini quantitativi. Tali parametri sono stati considerati con i seguenti valori: $M-B = 0.5$; $E = 1$.

Nella seguente tabella è riportata la quantificazione degli indicatori considerati per il criterio tipologia di opera infrastrutturale prevista per ciascuna soluzione progettuale.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO	RADDOPPIO DECIMOMANNU VILLAMASSARGIA					
	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
ANALISI MULTICRITERIA	COMMESSA RR0P	LOTTO 00	CODIFICA F 16 RG	DOCUMENTO EF 00 05 001	REV. B	FOGLIO 20 di 88

Tabella 4 -Categoria "Complessità infrastrutturale" Criterio "Caratteristiche opera nel contesto territoriale"

CRITERIO		INDICATORE				ALTERNATIVE	
Definizione	Definizione	Metodo di valutazione	Unità di misura	F.ni di normalizzaz.	Alternativa 1A	Alternativa 1B	
1.2 Caratteristiche opera nel contesto territoriale	1.2.1	Interventi sulle viabilità interferite	Numero di interventi risolti/interventi tot	%	min	100	40
	1.2.2	Varianti stradali	Numero varianti stradali necessarie	cad	min	2	3
	1.2.3	COMPLESSITA' FASI REALIZZAZIONE OPERE D'ARTE	Complessità medio-bassa (M-B)/elevata(E) per la realizzazione delle opere d'arte (specialmente in stretto affiancamento alla linea esistente, in presenza di esercizio e/o di fasizzazione)	qualitativo (-)	min	E	M-B

4.3.2 Categoria: **SOSTENIBILITÀ AMBIENTALE**

Con la categoria "*sostenibilità ambientale*" si vuole raggruppare la valutazione, in toto, dei criteri relativi al suolo; al sottosuolo (inclusendo i temi relativi alla geomorfologia, idrogeologia e idraulica) e al paesaggio naturale e antropico (inclusendo i temi relativi all'ambiente e all'archeologia).


Di seguito è riportata una descrizione dei tre criteri sopracitati e degli indicatori utilizzati per la misurazione degli stessi, con l'evidenza delle stime quantitative ottenute.

Suolo

Nello specifico gli indicatori analizzati sono:

1. **Consumo di nuovo territorio;**
2. **Consumo di suolo pro capite.**

Per l'indicatore "**consumo di nuovo territorio**" sono state sviluppate le valutazioni che seguono. L'analisi del consumo di suolo è stata condotta sulle diverse alternative di tracciato considerando l'impronta "tipologica media" al suolo del solido ferroviario.

	RADDOPPIO DECIMOMANNU VILLAMASSARGIA					
	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
ANALISI MULTICRITERIA	COMMESSA RR0P	LOTTO 00	CODIFICA F 16 RG	DOCUMENTO EF 00 05 001	REV. B	FOGLIO 21 di 88

Non sono stati considerati eventuali altre aree derivanti da modifiche alle viabilità esistenti o per la presenza di fabbricati tecnologici. Per i tratti in viadotto è stata considerata la proiezione al suolo dell'impalcato. Lo scopo di utilizzare tale indicatore è valorizzare la soluzione che limiti l'impatto dovuto all'occupazione di nuovo territorio. Si evidenzia che la quasi totalità del territorio interessato dall'intervento, ad esclusione di due o tre aree naturali e seminaturali riportate nel seguito, ricade in aree agricole o a prato-pascolo che pertanto sostanzialmente coincidono come consumo. Le analisi effettuate hanno riportato come preferibile l'alternativa A che prevede il tracciato in affiancamento all'esistente e pertanto ha un consumo di suolo ridotto rispetto alle altre alternative.

Per l'indicatore "**consumo di suolo pro capite**" è stato considerato che il consumo di suolo è un processo associato alla perdita di una risorsa ambientale fondamentale, limitata e non rinnovabile, dovuta all'occupazione di una superficie originariamente agricola, naturale o seminaturale con una copertura artificiale.

Pertanto, nella valutazione delle alternative progettuali risulta necessario valutare l'impatto dell'infrastruttura in termini di suolo consumato.

La relazione tra il tasso del consumo di suolo ed il tasso demografico è alla base degli Obiettivi di Sviluppo Sostenibile, in particolare rappresenta una misura statistica utile ad "assicurare che il consumo di suolo non superi la crescita demografica" ed è inclusa nell'indicatore 11.3.1 del "Rapporto SDGs 2021-Informazioni statistiche per l'Agenda 2030 in Italia".

Il comune di Decimomannu registra all'anno 2020 un valore di suolo consumato pari a 226,15 ettari¹, a fronte di una popolazione di 8.282 abitanti².

Le alternative di progetto prevedono una sottrazione/consumo di suolo pari a:

¹ ISPRA 2020 – I dati sul consumo di suolo.

² Istat – Dati demografici

- Alternativa 1A: 9.320 m² di aree naturali e subnaturali e 39.555 m² di aree agricole;
- Alternativa 1B: 675 m² di aree naturali e subnaturali e 98.925 m² di aree agricole.

Al fine di quantificare la soluzione migliore in termini di minor impatto sul consumo di suolo è stato preso come riferimento l'indicatore "impermeabilizzazione e consumo di suolo pro capite" incluso nelle misure statistiche diffuse dall'Istat³ rispetto agli indicatori SDGs. Tale analisi è stata declinata rapportando i dati progettuali relativi al consumo di aree naturali, subnaturali e agricole delle alternative con il numero di abitanti di Decimomannu.

Come si evince dalla figura che segue, l'Alternativa 1B determina maggiore consumo di suolo pro-capite per il Comune di riferimento, presentando un maggior impatto in termini di superficie di suolo agricolo occupato dall'impronta di progetto, mentre, l'Alternativa 1A prevede un consumo minore di suolo, incidendo maggiormente nella sottrazione/consumo di aree naturali e subnaturali.

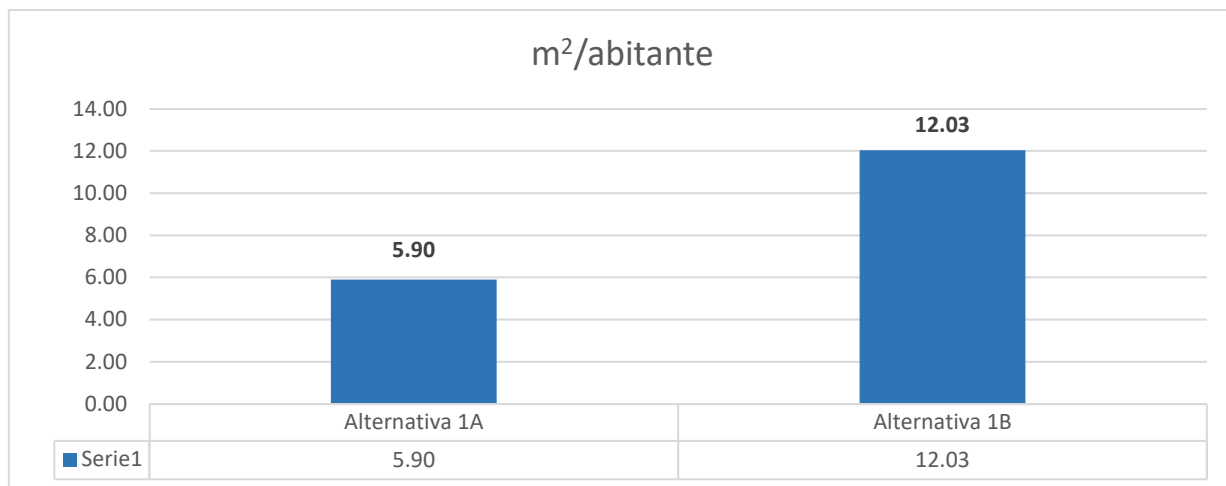


Figura 5 – Consumo suolo pro capite

Nella seguente tabella è riportata la quantificazione dell'indicatore considerato per il criterio suolo.

³ Tali misure rappresentano i KPI di monitoraggio, utilizzati a livello nazionale, volti a quantificare lo stato di raggiungimento degli obiettivi SDGs.

Tabella 5 -Categoria "Sostenibilità ambientale" - Criterio "Suolo"

CRITERIO	INDICATORE				ALTERNATIVE		
Definizione	Definizione	Metodo di valutazione	Unità di misura	F.ni di normalizzaz.	Alternativa 1A	Alternativa 1B	
2.1 SUOLO	2.1.1	CONSUMO DI NUOVO TERRITORIO	Sommatoria delle superfici di nuova occupazione interessate dall'impronta di progetto delle alternative	m ²	min	48875	99600
	2.1.2	Consumo di suolo pro capite	consumo di suolo in m2 previsto dalle opere rapportato al numero di abitanti residenti nei territori interessati	m ² /Abitante	min	5.9	12.03

Sottosuolo: Geomorfologia, idrogeologia e idraulica

Per il criterio "*Sottosuolo: geomorfologia, idrologia e idraulica*", al fine di effettuare una comparazione quanto più oggettiva ed efficace delle alternative, sono stati scelti i seguenti indicatori:

1. ***Interferenza con area a rischio idraulico***
2. ***Interferenza con reticolo idrografico***
3. ***Volumi di scavo***
4. ***Fabbisogno***

L'indicatore "***Interferenza con area a rischio idraulico***" è di tipo quantitativo ed è espresso come sommatoria (lunghezza, in metri) dei tratti allo scoperto dei vari tracciati ipotizzati interferenti con le aree a rischio/pericolosità P2 (*Tr = 200 anni*) definite nell'ambito della pianificazione di bacino (P.G.R.A.) vigente.

L'indicatore "***interferenza con il reticolo idrografico***" individua il numero (N) di intersezioni con il reticolo idrografico esistente dei tratti allo scoperto dei vari tracciati ipotizzati.

L'indicatore "***volumi di scavo***", ossia delle terre e delle rocce prodotte dalla realizzazione delle opere ferroviarie e stradali e dei materiali di risulta da gestire in corso d'opera, è da considerare che tutti i tracciati sono caratterizzati da assenza di trincee e Gallerie e pertanto la produzione di materiale deriva dallo scavo delle fondazioni delle opere d'arte (viadotti e scatolari), nonché dallo scotico e bonifica del terreno al di sotto dei rilevati.

L'indicatore "**fabbisogno**", ossia la quantità di terre da approvvigionare per l'alternativa, è stato determinato come volume di terreno necessario per la realizzazione delle opere in terra (rilevati) nonché per i ritombamenti delle fondazioni delle opere d'arte.

Dal confronto tra le due alternative la principale differenza tra i volumi di scavo e fabbisogno è legata alla presenza nella variante 1A della deviata provvisoria della linea nonché al rifacimento dello svincolo della SP03.

Nella seguente tabella è riportata la quantificazione degli indicatori considerati per il criterio Sottosuolo geomorfologia, idrologia e idraulica.


Tabella 6 - Categoria "Sostenibilità ambientale" - Criterio "Sottosuolo: Geomorfologia, idrogeologia e idraulica"

CRITERIO	INDICATORE					ALTERNATIVE	
	Definizione	Definizione	Metodo di valutazione	Unità di misura	F.ni di normalizzaz.	Alternativa 1A	Alternativa 1B
2.2 SOTTOSUOLO: GEOMORFOLOGIA, IDROGEOLOGIA E IDRAULICA	2.2.1	INTERFERENZA CON AREA A RISCHIO IDRAULICO	Sommatoria dei tratti (lunghezza) interferenti con le aree a rischio/pericolosità P2 (Tr = 200 anni) da pianificazione di bacino (P.G.R.A.)	m	min	1 960	1 845
	2.2.2	INTERFERENZA CON RETICOLO IDROGRAFICO	Numero intersezioni con il reticolo idrografico	N	min	3	4
	2.2.3	VOLUMI DI SCAVO	volumi di terre e rocce prodotte dalla realizzazione delle opere ferroviarie e stradali	m ³	min	150 000	140 000
	2.2.4	FABBISOGNO	Quantità di terre da approvvigionare per l'alternativa	m ³	min	264 000	235 000

Per quanto riguarda l'ambito Geologia, per l'interferenza con area a rischio geomorfologico: dall'esame della documentazione cartografica di PAI e Progetto IFFI per l'area in esame non si rilevano interferenze con aree a rischio geomorfologico per nessuno dei tracciati ipotizzati.

Per la probabile presenza di gas: non essendo previsti scavi in galleria, non si ravvisa la presenza di rischio gas

Per il rischio Sismico: stante la mappa del rischio sismico, riportata dal Dipartimento di Protezione Civile ed aggiornata al 20 aprile 2021, i comuni interessati dai tracciati ipotizzati ricadono tutti in area a rischio sismico basso - R4 (Accelerazione con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni: $\leq 0,05g$; Accelerazione orizzontale massima convenzionale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico: $0,05g$)

	RADDOPPIO DECIMOMANNU VILLAMASSARGIA					
	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
ANALISI MULTICRITERIA	COMMESSA RR0P	LOTTO 00	CODIFICA F 16 RG	DOCUMENTO EF 00 05 001	REV. B	FOGLIO 25 di 88

In sintesi, non si ravvisano interferenze geologiche, geomorfologiche e sismiche negative per i tracciati ipotizzati, sulla base delle informazioni disponibili.

Paesaggio Naturale e antropico

Per il criterio “*Paesaggio naturale e antropico*”, al fine di effettuare una comparazione quanto più oggettiva ed efficace delle alternative, sono stati scelti i seguenti indicatori:

1. ***Attraversamento di aree con vincolo paesaggistico Art. 142 del D.Leg. 42/2004***
2. ***Vincoli archeologici ex art 10 D.Lgs 42/2004***
3. ***Consumi sottrazione di aree naturali e subnaturali (PPR)***

Gli indicatori “***Attraversamento di aree con vincolo paesaggistico Art. 142 del D.Leg. 42/2004***” e “***Vincoli archeologici ex art 10 D.Lgs 42/2004***” per quanto riguarda la sostenibilità ambientale, in materia di archeologia, sono stati esplicitati nel modo seguente: il primo parametro utilizzato è stata la presenza/assenza di aree di interesse archeologico ex dlgs 42\2004, art.142 lettera m, mentre il secondo parametro è la prossimità con vincoli archeologici ex art. 10 del Dlg. 42/2004, entro il raggio di 1 km dal tracciato.

La verifica è stata effettuata tramite la consultazione delle risorse disponibili on-line:

Si evidenzia che in base agli esiti dello Studio Archeologico, redatto in relazione al tracciato scelto, secondo quanto previsto dalla normativa vigente in materia di “Verifica preventiva dell’interesse archeologico”, potrebbero essere individuate aree interessate dal progetto che la Soprintendenza territorialmente competente, in base a quanto previsto dall’art.25 del DLgs 50/2016, potrebbe valutare di “interesse archeologico”, richiedendo l’esecuzione di indagini archeologiche preventive.

Per l’Alternativa 1 A: dalla verifica non risultano interferenze con aree di interesse archeologico ex dlgs 42\2004,art.142 lettera m, ma si registra la prossimità di vincolo archeologici ex art. 10 del Dlg. 42/2004 a ml 160

	RADDOPPIO DECIMOMANNU VILLAMASSARGIA					
	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
ANALISI MULTICRITERIA	COMMESSA RR0P	LOTTO 00	CODIFICA F 16 RG	DOCUMENTO EF 00 05 001	REV. B	FOGLIO 26 di 88

Per l'Alternativa 1 B: dalla verifica non risultano interferenze con aree di interesse archeologico ex dlgs 42/2004, art. 142 lettera m, ma si registra la prossimità di vincolo archeologici ex art. 10 del Dlg. 42/2004 a ml 30

Gli indicatori **“Attraversamento di aree con vincolo paesaggistico Art. 142 del D.Leg. 42/2004”** e **“Vincoli archeologici ex art 10 D.Lgs 42/2004”**, invece da un punto di vista ambientale, lo scopo dell'analisi comparativa è quello di evidenziare le interferenze delle alternative di tracciato con le aree tutelate dal D.Lgs 42/2004, Aree naturali protette così come definite dalla Legge Quadro sulle aree protette, n. 394 del 6 dicembre 1991 e Rete Natura 2000, ai sensi del DPR n. 357 del 8 settembre 1997, s.m. dal DPR n. 120 del 12 marzo 2003 (fonte: geoportale nazionale Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare).

In particolare, con riferimento alle aree interferenti con beni paesaggistici, sono stati considerati i beni di cui all'artt. 136 e 142 e sono risultati interessati dalle opere i seguenti:

- Art.142 comma c) i fiumi, i torrenti, i corsi d'acqua iscritti negli elenchi previsti dal testo unico delle disposizioni di legge sulle acque ed impianti elettrici, approvato con regio decreto 11 dicembre 1933, n. 1775, e le relative sponde o piedi degli argini per una fascia di 150 metri ciascuna;

Gli indicatori sopra citati sono stati calcolati valutando l'interferenza in metri lineari con le aree sopra identificate e considerando il tracciato, nella sua interezza. I risultati mostrano che gli unici vincoli interessati direttamente dalle opere risultano essere quelli per l' "attraversamento di aree con vincolo paesaggistico Art. 142 del D. Lgs 42/2004 - comma c) Fascia di rispetto dei Fiumi 150m", rispetto a tale vincolo l'alternativa A in affiancamento alla linea esistente risulta essere meno efficace rispetto all'altra alternativa progettuale in quanto presenta un tratto in parallelismo con il Rio e conseguentemente con l'area di rispetto dello stesso, mentre l'alternativa B in variante evita tale parallelismo limitando l'interferenza al solo attraversamento.

La verifica è stata effettuata tramite la consultazione delle risorse disponibili on-line.

Per l'indicatore "Consumo/sottrazione di aree naturali e subnaturali (PPR)": l'analisi è stata condotta sulle diverse alternative di tracciato considerando l'impronta "tipologica media" al suolo del solido ferroviario, non sono stati considerati eventuali altre aree derivanti da modifiche alle viabilità esistenti o per la presenza di fabbricati tecnologici. Tali aree sono segnalate dal PPR come aree di elevato valore paesaggistico; le valutazioni effettuate hanno evidenziato come migliore l'alternativa B in quanto l'alternativa A risulta interferente con le aree naturali e subnaturali presenti lungo il Rio che corre parallelamente al tracciato dell'alternativa A.

Tabella 7-Categoria "Sostenibilità ambientale" - Criterio "Paesaggio naturale e antropico"

CRITERIO	INDICATORE					ALTERNATIVE		
	Definizione	Definizione	Metodo di valutazione	Unità di misura	F.ni di normalizzaz.	Alternativa 1A	Alternativa 1B	
2.3 PAESAGGIO NATURALE E ANTROPICO	2.3.1	ATTRAVERSAMENTO DI AREE CON VINCOLO PAESAGGISTICO Art. 142 del D. Lgs 42/2004	c) FASCIA DI RISPETTO FIUMI 150m	Sommatoria delle aree vincolate interferite dall'alternativa	m	min	1 400	690
	2.3.2	VINCOLI ARCHEOLOGICI	VINCOLI ARCHEOLOGICI, ex art. 10 del D.Lgs 42\2004	Distanza lineare minima da aree di interesse archeologico	ml	max	160	30
	2.3.3	CONSUMO /SOTTRAZIONE DI AREE NATURALI E SUBNATURALI (PPR)		Sommatoria delle superfici di aree naturali e subnaturali di nuova occupazione interessate dall'impronta di progetto delle alternative	m ²	min	9 320	675

Emissioni inquinanti e climalteranti

Per il criterio "Emissioni inquinanti e climalteranti", al fine di effettuare una comparazione quanto più oggettiva ed efficace delle alternative, sono stati considerati i seguenti indicatori:

- 1. Probabilità di aumento del disturbo acustico rispetto allo stato attuale;**
- 2. Emissioni in tonnellate di CO₂_eq in fase di realizzazione dell'opera;**
- 3. Emissioni in tonnellate di CO₂_eq per anno di esercizio;**
- 4. Emissioni in tonnellate di particolato (PM10) per anno di esercizio.**

L'indicatore "Probabilità di aumento del disturbo acustico rispetto allo stato attuale" valuta in termini probabilistici quanto l'alternativa di tracciato possa comportare un aumento del disturbo acustico in considerazione di quanto il tracciato si avvicina o viceversa si allontana, rispetto allo

	RADDOPPIO DECIMOMANNU VILLAMASSARGIA					
	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
ANALISI MULTICRITERIA	COMMESSA RR0P	LOTTO 00	CODIFICA F 16 RG	DOCUMENTO EF 00 05 001	REV. B	FOGLIO 28 di 88

stato attuale, dalle aree abitate o dai ricettori presenti. Le valutazioni effettuate evidenziano come l'alternativa A in affiancamento risulti migliore in quanto non si ravvisa la presenza di ricettori in prossimità della stessa.

Per l'indicatore **“Emissioni in tonnellate di CO₂_eq in fase di realizzazione dell'opera”**:

La stima parametrica delle emissioni GHG in fase di realizzazione dell'opera viene effettuata a partire da un'analisi storica ed una rielaborazione statistica delle emissioni calcolate nelle precedenti applicazioni della "Metodologia per la misura delle emissioni di gas serra", certificata da ente terzo in conformità alla norma UNI EN ISO 14064-1:2019, a progetti in fase di PFTE. Sulla base dell'estensione dei tratti per tipologia di opera d'arte e della lunghezza complessiva del tracciato di ciascuna alternativa progettuale, tale strumento di analisi permette di stimare⁴ i potenziali impatti in termini di emissione GHG correlati.

L'applicazione della stima parametrica dell'impronta climatica alle alternative progettuali individuate per “Decimomannu” genera i risultati riportati nella seguente tabella, espressi per ciascuna soluzione in tonnellate di CO₂e:

Alternative progettuali	tCO ₂ e
<i>Alternativa 1A</i>	182.184
<i>Alternativa 1B</i>	189.173

Figura 6 - Stima parametrica impronta climatica

L'indicatore **“Emissioni in tonnellate di CO₂_eq per anno di esercizio”** ha lo scopo di stimare le emissioni climalteranti relative alla trazione Diesel del materiale rotabile, con riferimento alle diverse alternative, per farlo si è proceduto inizialmente ad individuare il valore previsto per gli scenari considerati in termini di numero treni giorno.

⁴ Con una variabilità del risultato pari a ±20%

Considerando il tratto di linea interessata, è possibile individuare il n° di treni/gg e la tipologia di rotabile utilizzato sulla linea, dopodichè è stato dedotto il consumo specifico rapportandolo alla lunghezza della Linea.

Per il calcolo delle emissioni climalteranti espresse in termini di CO₂_eq, si è fatto uso dei dati dei fattori di emissione relativi alla CO₂, CH₄ e N₂O derivanti dal “EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019”, espressi in Kg e g per tonnellata di Diesel; successivamente, le emissioni dei gas inquinanti atmosferici CH₄ e N₂O sono state convertite in termini di CO₂ equivalente. Tale conversione è stata effettuata attraverso dei parametri standard di Global Warming Potential (GWP).

Nella seguente tabella viene riportato il confronto delle emissioni climalteranti, espresse in termini di tonnellate di CO₂ equivalente, relative alle diverse alternative.


Tabella 8-Emissioni climalteranti relativi alle soluzioni proposte

	Alternativa A	Alternativa B
	[ton CO ₂ _eq /anno]	[ton CO ₂ _eq /anno]
Regionale	752	802
Totale	752	802

Dal confronto dei risultati mostrati in tabella, si nota un valore maggiore di emissioni climalteranti per l'alternativa B, tale effetto è dovuto, alla maggiore estensione e ai maggiori consumi specifici che caratterizzano tale alternativa.

Dall'analisi condotta risulta che la soluzione preferibile, sotto il profilo di emissioni climalteranti, è l'alternativa A.

Per l'indicatore “**Emissioni in tonnellate di particolato (PM10) per anno di esercizio**” lo scopo è quello di stimare le emissioni inquinanti derivanti dalla trazione Diesel del materiale rotabile, con riferimento alle diverse alternative. Si specifica che nell'analisi sono stati considerati diversi agenti inquinanti (quali ad esempio: NO_x, NMVOC, PM_{2,5}); si è scelto infine di riportare esclusivamente l'agente PM₁₀ in quanto il più incisivo, viste le caratteristiche del progetto

	RADDOPPIO DECIMOMANNU VILLAMASSARGIA					
	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
ANALISI MULTICRITERIA	COMMESSA RR0P	LOTTO 00	CODIFICA F 16 RG	DOCUMENTO EF 00 05 001	REV. B	FOGLIO 30 di 88

(vicinanza a centri abitati), e al fine di non generare ridondanza nell'AMC. Al fine di stimare tale indicatore si è proceduto inizialmente ad individuare il valore previsto per gli scenari considerati in termini di numero treni/giorno. Considerando il tratto di linea interessata, in tabella è possibile individuare il n° di treni/gg e la tipologia di rotabile utilizzato sulla linea. Quanto riportato in tabella è valido per entrambe le alternative.

Per il calcolo delle emissioni inquinanti relative al particolato, si è fatto uso dei dati e dei Coefficienti emissivi relativi all'inquinante PM10 forniti dal documento "EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019".

Nella seguente tabella viene riportato il confronto delle emissioni di particolato PM10 derivante dalla trazione Diesel, relative alle diverse alternative.

Tabella 9 - Emissioni di particolato PM10 relativi alle soluzioni proposte

	Alternativa A [ton PM10/anno]	Alternativa B [ton PM10/anno]
Regionale	0,34	0,37
Totale	0,34	0,37

Dal confronto dei risultati mostrati in tabella, si nota un valore maggiore di emissioni di particolato per l'alternativa B, tale effetto è dovuto, alla maggiore estensione e ai maggiori consumi specifici che caratterizzano tale alternativa.

Dall'analisi condotta risulta che la soluzione preferibile, sotto il profilo di emissioni inquinanti, è l'alternativa A.


 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO	RADDOPPIO DECIMOMANNU VILLAMASSARGIA					
	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
ANALISI MULTICRITERIA	COMMESSA RR0P	LOTTO 00	CODIFICA F 16 RG	DOCUMENTO EF 00 05 001	REV. B	FOGLIO 31 di 88

Tabella 10- Categoria "Sostenibilità ambientale" - Criterio "Emissioni inquinanti e climalteranti"

CRITERIO	INDICATORE				ALTERNATIVE		
Definizione	Definizione	Metodo di valutazione	Unità di misura	F.ni di normalizzaz.	Alternativa 1A	Alternativa 1B	
2.4 EMISSIONI INQUINANTI E CLIMALTERANTI	2.4.1	Probabilità di AUMENTO del disturbo acustico rispetto allo stato attuale	verso l'abitato	-	min	nullo	alto
	2.4.2	Emissioni in tonnellate di CO2e in fase di realizzazione dell'opera	Emissioni in tonnellate di CO2e in fase di realizzazione dell'opera	[tCO2e]	max	182 184	189 173
	2.4.3	Emissioni in tonnellate di CO2_eq per anno di esercizio	Emissioni in tonnellate di CO2_eq derivanti dal consumo di gasolio per la trazione ferroviaria con riferimento ad un anno di esercizio	[tCO2eq/a]	max	752	802
	2.4.4	Emissioni in tonnellate di particolato (PM10) per anno di esercizio	Emissioni in tonnellate di particolato (PM10) derivanti dal consumo di gasolio per la trazione ferroviaria con riferimento ad un anno di esercizio	[t PM10/a]	max	0.34	0.37

Per quanto riguarda i Siti contaminati e potenzialmente contaminati, si sono fatte le seguenti analisi:

Nell'ambito dello studio degli interventi di progetto, si è proceduto al riconoscimento di aree potenzialmente critiche dal punto di vista ambientale presenti nelle aree oggetto dei lavori, ovvero all'individuazione di siti contaminati e potenzialmente contaminati interferenti con le opere in progetto.

Siti di interesse nazionale (SIN)

Un sito di interesse nazionale (SIN) è un'area contaminata estesa, classificata come pericolosa e quindi da sottoporre ad interventi di bonifica per evitare danni ambientali e sanitari. Considerata l'ubicazione dell'area di intervento, nel presente documento la verifica dei SIN è stata effettuata sul territorio regionale sardo, dove sono stati individuati in totale 2 siti di interesse nazionale e n. 1 sito di interesse Regionale:

- Porto Torres (L. 179/2002);
- Sulcis Iglesiente Guspinese (D.M. 304/2016);

- La Maddalena (ex SIN)



● Siti di interesse nazionale rimasti di competenza Ministero Ambiente

24 Sulcis D.M. 304/2016

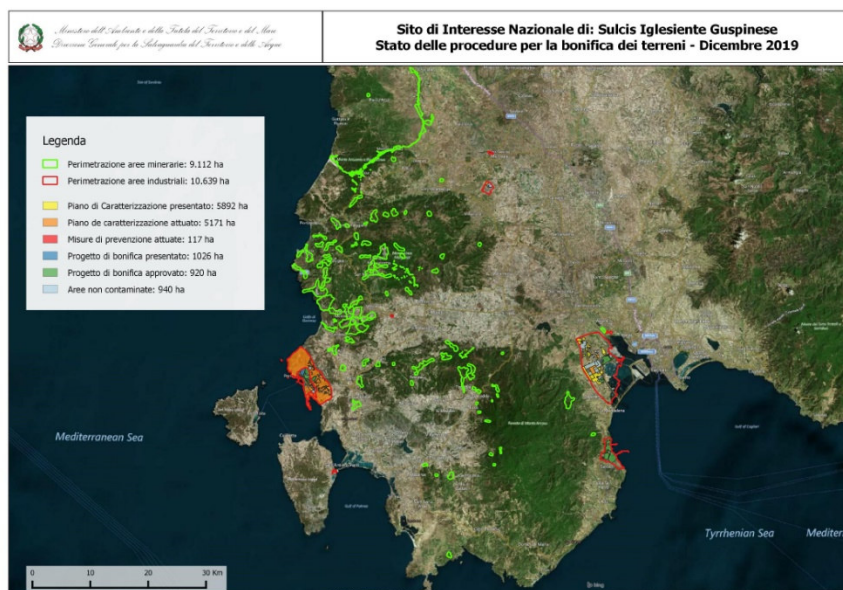
36 Porto Torres L. 179/2002

● Siti di interesse nazionale divenuti di competenza regionale

58 La Maddalena

Figura 7 - Localizzazione dei SIN e dei SIR nella regione Sardegna (Fonte: Ministero della Transizione Ecologica ex-Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare Siti di Interesse Nazionale - Stato delle procedure per la bonifica – Febbraio 2020 (fonte: Ministero della Transizione Ecologica – Direzione Generale per il Risanamento Ambientale)

Di seguito si rappresenta lo stato di avanzamento dei SIN sopra citati per il progetto in questione:



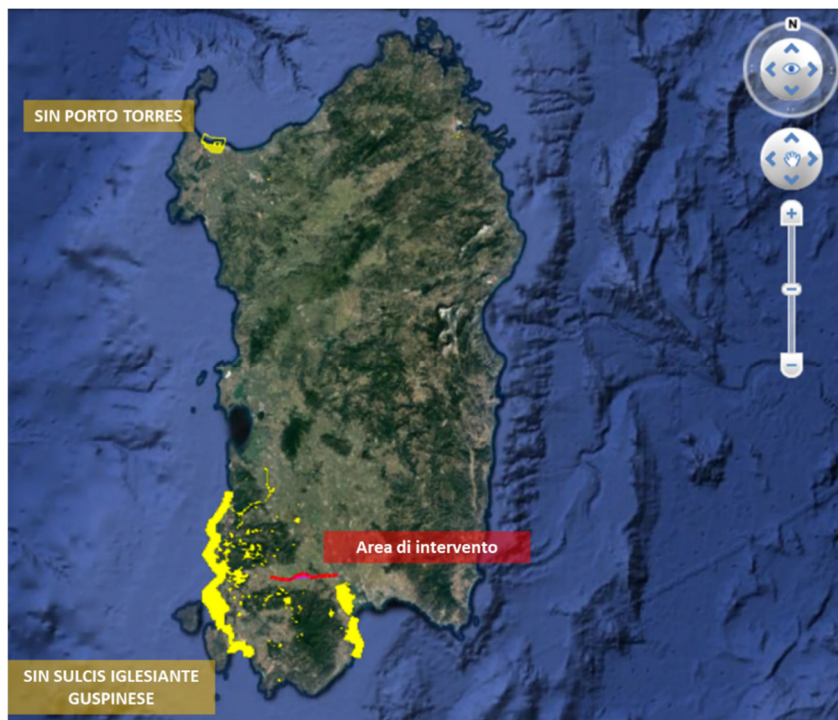


Figura 8 - Localizzazione dell'area di intervento rispetto i SIN (Fonte: Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare)

La ricognizione effettuata ha evidenziato che i suddetti SIN sono a distanza ragionevole delle aree interessate dalle opere in oggetto.

Siti contaminati e potenzialmente contaminati

Il piano regionale di bonifica dei siti inquinati della Sardegna è lo strumento di programmazione e pianificazione, attraverso cui la Regione, coerentemente con le normative nazionali e con le problematiche specifiche territoriali, mira alla riduzione e alla risoluzione, in assoluto, delle problematiche ambientali connesse con la presenza di siti contaminati dettando strumenti di gestione del territorio che operino in questa direzione sia dal punto di vista burocratico-amministrativo, sia dal punto di vista tecnico sia da quello operativo.

In relazione alla presenza di tali siti si riportano di seguito i più prossimi alle aree di intervento.

- Siti Industriali (in blu in figura);
- Aree minerarie dismesse (in bianco in figura);

- Discariche RSU dismesse (in celeste in figura);
- Distributore di carburanti (in giallo in figura);
- Altri siti (in rosa - Sito oggetto di evento incidentale; in verde - Sito generico).

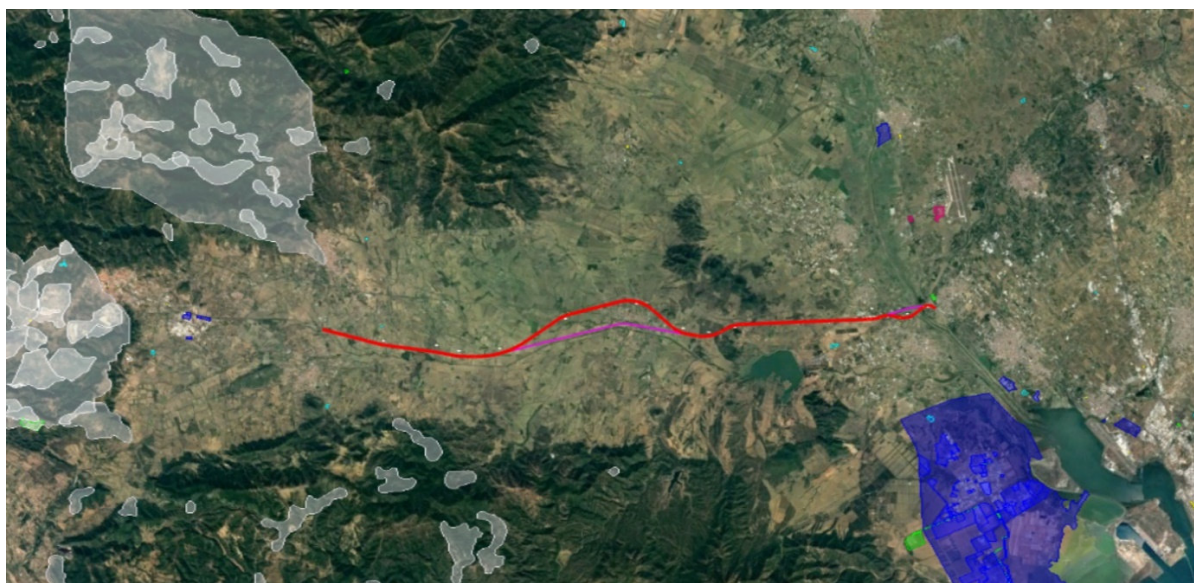


Figura 9 - Tracciati di intervento (rosso e magenta) ed i siti contaminati (bianco, blu, celeste, blu, verde e rosa)

Dalla consultazione della anagrafica è emerso che alcuni interventi puntuali in progetto interessano siti contaminati che ricadono nelle buffer di 500 m delle aree di intervento senza alcuna interferenza.

Motivo per cui si è optato per non inserire un indicatore, in quanto in nessuna alternativa ricade un'area con delle interferenze.

4.3.3 Categoria: EFFICACIA TRASPORTISTICA

Per la categoria "*efficacia trasportistica*" è stato valutato il solo criterio "esercizio ferroviario" in quanto le alternative non presentano differenze dal punto di vista strettamente trasportistico.

Di seguito è riportata una descrizione del criterio sopracitato e degli indicatori utilizzati per la misurazione degli stessi, con l'evidenza delle stime quantitative ottenute.

	RADDOPPIO DECIMOMANNU VILLAMASSARGIA					
	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
ANALISI MULTICRITERIA	COMMESSA RR0P	LOTTO 00	CODIFICA F 16 RG	DOCUMENTO EF 00 05 001	REV. B	FOGLIO 35 di 88

Esercizio ferroviario

Per il criterio “*Esercizio ferroviario*”, al fine di effettuare una comparazione quanto più oggettiva ed efficace delle alternative, sono stati analizzati tutti i possibili elementi caratterizzanti dal punto di vista funzionale e dell’esercizio. Di conseguenza sono stati individuati i seguenti indicatori:

1. Tempi di percorrenza servizio passeggeri;
2. Interferenze potenziali con l’esercizio della rete storica.

L’indicatore di performance “**Tempi di percorrenza servizio passeggeri**” è stato stimato applicando alle varie soluzioni di tracciato, la velocità media commerciale (comprensiva dei margini di regolarità), valutata mediante simulazioni in tratte significative, di un servizio eseguito con ATR 365. Nel dettaglio, è stato definito come la differenza tra il tempo di percorrenza attuale e quello di progetto relativamente ad un servizio passeggeri veloce per le relazioni significative.

Tale indicatore non è stato inserito nell’analisi, sebbene valutato e studiato, in quanto i tempi di percorrenza delle diverse alternative risulta pressoché uguale, risultando quindi invariante ai fini dell’Analisi Multicriteria.

L’indicatore “**Consumi energetici**” misurato con i litri di gasolio utilizzato per percorrere il tratto oggetto di intervento, non è stato inserito nell’analisi, sebbene valutato e studiato, in quanto i valori delle diverse alternative risulta pressoché uguale, risultano quindi invarianti ai fini dell’Analisi Multicriteria.

Alla luce di quanto detto sopra la categoria “Efficacia trasportistica” si considera non influente nella scelta dell’alternativa giustificata per l’analisi multicriteria tratta 1 Decimomannu.

4.3.4 Categoria: REALIZZAZIONE ED ECONOMIA DEL PROGETTO

Per il criterio “*Costruzione*”, al fine di effettuare una comparazione quanto più oggettiva ed efficace delle alternative, sono stati scelti i seguenti indicatori:

1. Tempi di realizzazione;
2. Costi di realizzazione.

	RADDOPPIO DECIMOMANNU VILLAMASSARGIA					
	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
ANALISI MULTICRITERIA	COMMESSA RR0P	LOTTO 00	CODIFICA F 16 RG	DOCUMENTO EF 00 05 001	REV. B	FOGLIO 36 di 88

L'indicatore **“costo di realizzazione”** è stato misurato come valore opere, è stato stimato in considerazione del livello progettuale delle alternative 1A e 1B per la tratta Decimomannu – Villaspeciosa e sviluppato con metodologia parametrica. L'alternativa 1A risulta più onerosa rispetto alla 1B in particolare per la necessità di risolvere l'interferenza con lo svincolo della strada provinciale SP03 nei pressi dell'attuale stazione di Villaspeciosa, interferenza che nella variante 1B viene minimizzata con uno scavalco in viadotto.

L'indicatore **“tempi di realizzazione”** indica una stima temporale della durata totale dei lavori relativamente ad ogni singola soluzione progettuale analizzata, comprensiva delle attività propedeutiche iniziali fino alla disponibilità per le verifiche tecniche (CVT ed ANSF).

Per le alternative individuate, la stima temporale comprende le attività propedeutiche iniziali e le attività di costruzione delle opere civili.

La stima non tiene conto del tempo necessario per i collaudi e le verifiche tecniche (CVT – ANSF). Allo stato attuale, l'analisi è stata effettuata su dati progettuali il cui dettaglio non ha consentito di individuare una sostanziale differenza in termini di “tempi di realizzazione” tra le alternative proposte. La durata complessiva delle attività di costruzione per le due alternative (1A e 1B) può considerarsi confrontabile e di circa pari a 3 anni e quindi influente ai fini dell'individuazione dell'alternativa giustificata.

Nella seguente tabella è riportata la quantificazione dell'indicatore considerato per il criterio Costruzione.

Tabella 11 - Categoria “Realizzazione ed economia del progetto” - Criterio “Costruzione”

CRITERIO		INDICATORE				ALTERNATIVE	
Definizione	Definizione	Metodo di valutazione	Unità di misura	F.ni di normalizzaz.	Alternativa 1A	Alternativa 1B	
3.1 COSTRUZIONE	3.1.1 COSTI DI REALIZZAZIONE	Stima dei costi di realizzazione delle alternative	Mi€	min	261.6	191.5	

4.4 Assegnazione dei pesi e matrice di valutazione

L'analisi è stata condotta ipotizzando tre livelli di pesi associati rispettivamente alle categorie, agli indicatori e ai criteri.

Per la determinazione dei pesi relativi alle **categorie** è stata utilizzata la metodologia AHP (*Analytical Hierarchy process*) che è un modello decisionale multicriterio utilizzato per l'assegnazione dei pesi delle categorie.

Il metodo è basato su valori e giudizi, sia quantitativi che qualitativi determinati in base a una struttura gerarchica multilivello al fine di ottenere delle priorità.

Le valutazioni, oggettive o soggettive, sono convertite in valori numerici ed utilizzate per assegnare una priorità alle singole categorie.

Nello specifico, i giudizi si basano su interpretazioni soggettive, espresse spesso in un linguaggio verbale e trasformate in numeri mediante la scala dei rapporti di Saaty, che trasforma i giudizi in punteggi assoluti compresi tra 1 e 9, dove 1 rappresenta l'uguaglianza tra i due criteri ed il valore 9 l'estrema importanza di un criterio rispetto all'altro.

Tabella 12 - Scala di rapporti di Saaty

Value	Definition
1	Equal importance
2	
3	Slightly more important
4	
5	Much more important
6	
7	Very much more important
8	
9	Absolutely dominating

Il giudizio finale si basa sull'esperienza dei progettisti/analisti coinvolti, anche con la consapevolezza degli obiettivi riportati nell'Agenda 2030 per lo Sviluppo Sostenibile.

I valori assegnati nelle comparazioni sono organizzati in una matrice quadrata, positiva e reciproca, unitaria sulla diagonale principale, chiamata matrice dei confronti a coppie.

Si riportano di seguito la matrice dei confronti a coppie (Tabella 13) e la stima dei pesi per ciascuna categoria analizzata (Tabella 14).

Tabella 13 - Matrice dei confronti a coppie

	Complessità infrastrutturale	SOSTENIBILITA' AMBIENTALE	REALIZZAZIONE E ECONOMIA DEL PROGETTO
Complessità infrastrutturale	1	0.33	2.5
SOSTENIBILITA' AMBIENTALE	3	1	4.5
REALIZZAZIONE E ECONOMIA DEL PROGETTO	0.4	0.22	1
Sum	4.40	1.56	8.00

Tabella 14 - Stima del peso per ciascuna categoria analizzata

	Complessità infrastrutturale	SOSTENIBILITA' AMBIENTALE	REALIZZAZIONE E ECONOMIA DEL PROGETTO	Pesi
Complessità infrastrutturale	0.227	0.214	0.313	25%
SOSTENIBILITA' AMBIENTALE	0.682	0.643	0.563	63%
REALIZZAZIONE E ECONOMIA DEL PROGETTO	0.091	0.143	0.125	12%

L'Analisi ha dato come risultati i seguenti pesi per le categorie:

- ✓ Complessità infrastrutturale = 25%
- ✓ Sostenibilità ambientale = 63%
- ✓ Realizzazione ed economia del progetto = 12%

La stima dei pesi relativi a **criteri** e **indicatori** è stata ipotizzata sulla base del buon senso e dell'esperienza da parte degli analisti/progettisti coinvolti, con il fine di individuare la ripartizione che desse la giusta importanza sia agli aspetti tecnici, ma anche agli impatti (sia con carattere transitorio che definitivo) che un progetto di tale tipo può generare sulla collettività e sui trasporti. All'interno delle categorie, i pesi sono distribuiti sia per i criteri che per gli indicatori con il dettaglio mostrato nelle Tabelle 13-14. In generale, con il fine di effettuare una comparazione quanto più oggettiva ed efficace delle alternative, è stato attribuito un peso equo per ciascun criterio e per ciascun indicatore.


 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO	RADDOPPIO DECIMOMANNU VILLAMASSARGIA					
	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
ANALISI MULTICRITERIA	COMMESSA RR0P	LOTTO 00	CODIFICA F 16 RG	DOCUMENTO EF 00 05 001	REV. B	FOGLIO 40 di 88

Tabella 15 - Vettore dei pesi attribuiti e matrice di valutazione - Analisi Decimomannu 1/2

Indicatori AMC Decimomannu												
CATEGORIA		CRITERIO		INDICATORE							ALTERNATIVE	
Definizione	Peso	Definizione	Peso	Definizione	Metodo di valutazione	Unità di misura	Peso	Peso sul totale	F.ni di normalizzaz.	Alternativa 1A	Alternativa 1B	
1 - Complessità infrastrutturale	25%	1.1 Tipologia di opera infrastrutturale prevista nell'intervento	50%	1.1.1	TRATTO IN VARIANTE rispetto ad un tracciato esistente (ferrovia-autostrada)	Estensione dei tratti su nuovo sedime	m	33.3%	4.1%	min	3050	3200
				1.1.2	VIADOTTO/SCATOLARE	Estensione tratti per tipologia di opere d'arte	m	33.3%	4.1%	min	1950	2100
				1.1.3	Deviata provvisoria linea	Estensione del tratto di deviata provvisoria	m	33.3%	4.1%	min	1200	0
		1.2 Caratteristiche opera nel contesto territoriale	50%	1.2.1	Interventi sulle viabilità interferite	Numero di interventi risolti/interventi tot	%	33.3%	4.1%	min	100	40
				1.2.2	Varianti stradali	Numero varianti stradali necessarie	cad	33.3%	4.1%	min	2	3
				1.2.3	COMPLESSITA' FASI REALIZZAZIONE OPERE D'ARTE	Complessità medio-bassa (M-B)/elevata(E) per la realizzazione delle opere d'arte (specialmente in stretto affiancamento alla linea esistente, in presenza di esercizio e/o di fasizzazione)	qualitativo (-)	33.3%	4.1%	min	E	M-B


	RADDOPPIO DECIMOMANNU VILLAMASSARGIA					
	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
ANALISI MULTICRITERIA	COMMESSA RR0P	LOTTO 00	CODIFICA F 16 RG	DOCUMENTO EF 00 05 001	REV. B	FOGLIO 41 di 88

Tabella 16 - Vettore dei pesi attribuiti e matrice di valutazione - Analisi Decimomannu 2/2

CATEGORIA		CRITERIO		INDICATORE							ALTERNATIVE		
Definizione	Peso	Definizione	Peso	Definizione	Metodo di valutazione	Unità di misura	Peso	Peso sul totale	F.ni di normalizzaz.	Alternativa 1A	Alternativa 1B		
2. SOSTENIBILITA' AMBIENTALE	63%	2.1 SUOLO	15%	2.1.1	CONSUMO DI NUOVO TERRITORIO	Sommatoria delle superfici di nuova occupazione interessate dall'impronta di progetto delle alternative	m ²	50.0%	4.7%	min	48875	99600	
				2.1.2	Consumo di suolo pro capite	consumo di suolo in m2 previsto dalle opere rapportato al numero di abitanti residenti nei territori interessati	m ² /Abitante	50.0%	4.7%	min	5.9	12.03	
		2.2 SOTTOSUOLO: GEOMORFOLOGIA, IDROGEOLOGIA E IDRAULICA	30.0%	2.2.1	INTERFERENZA CON AREA A RISCHIO IDRAULICO	Sommatoria dei tratti (lunghezza) interferenti con le aree a rischio/pericolosità P2 (Tr = 200 anni) da pianificazione di bacino (P.G.R.A.)	m	25.0%	4.4%	min	1960	1845	
				2.2.2	INTERFERENZA CON RETICOLO IDROGRAFICO	Numero intersezioni con il reticolo idrografico	N	25.0%	4.4%	min	3	4	
				2.2.3	VOLUMI DI SCAVO	volumi di terre e rocce prodotte dalla realizzazione delle opere ferroviarie e stradali	m ³	25.0%	4.4%	min	150000	140000	
				2.2.4	FABBISOGNO	Quantità di terre da approvvigionare per l'alternativa	m ³	25.0%	4.4%	min	264000	235000	
		2.3 PAESAGGIO NATURALE E ANTROPICO	25.0%	2.3.1	ATTRAVERSAMENTO DI AREE CON VINCOLO PAESAGGISTICO Art. 142 del D. Lgs 42/2004	c) FASCIA DI RISPETTO FIUMI 150m	Sommatoria delle aree vincolate interferite dall'alternativa	m	33.3%	5.7%	min	1400	690
				2.3.2	VINCOLI ARCHEOLOGICI	VINCOLI ARCHEOLOGICI, ex art. 10 del D.Lgs 42\2004	Distanza lineare minima da aree di interesse archeologico	m	33.3%	5.7%	max	160	30
				2.3.3	CONSUMO /SOTTRAZIONE DI AREE NATURALI E SUBNATURALI (PPR)		Sommatoria delle superfici di aree naturali e subnaturali di nuova occupazione interessate dall'impronta di progetto delle alternative	m ²	33.3%	5.7%	min	9320	675
		2.4 EMISSIONI INQUINANTI E CLIMALTERANTI	30%	2.4.1	Probabilità di AUMENTO del disturbo acustico rispetto allo stato attuale		verso l'abitato	-	25.0%	4.7%	min	nullo	alto
				2.4.2	Emissioni in tonnellate di CO ₂ e in fase di realizzazione dell'opera		Emissioni in tonnellate di CO ₂ e in fase di realizzazione dell'opera	[tCO ₂ e]	25.0%	4.7%	max	182184	189173
				2.4.3	Emissioni in tonnellate di CO ₂ _eq per anno di esercizio		Emissioni in tonnellate di CO ₂ _eq derivanti dal consumo di gasolio per la trazione ferroviaria con riferimento ad un anno di esercizio	[tCO ₂ eq/a]	25.0%	4.7%	max	752	802
				2.4.4	Emissioni in tonnellate di particolato (PM10) per anno di esercizio		Emissioni in tonnellate di particolato (PM10) derivanti dal consumo di gasolio per la trazione ferroviaria con riferimento ad un anno di esercizio	[t PM10/a]	25.0%	4.7%	max	0.34	0.37
3. REALIZZAZIONE ECONOMICA DEL PROGETTO	12%	3.1 COSTRUZIONE	100%	3.1.1	COSTI DI REALIZZAZIONE	Stima dei costi di realizzazione delle alternative di progetto	Mi€	100.0%	12.0%	min	261.6	191.5	

4.5 Risultati Analisi Multicriteria

Nella seguente paragrafo si riportano i risultati dell'analisi multicriteria per la tratta 1 Decimomannu, sviluppata per individuare l'alternativa giustificata tra le alternative 1A (in affiancamento alla linea storica) e 1B (in variante rispetto alla linea storica).

I risultati mostrano come l'alternativa 1B risulti la giustificata con un punteggio complessivo di 53.29/100. In particolare, questa alternativa presenta i migliori risultati rispetto tutte le categorie analizzate.

Nei grafici seguenti si riporta il dettaglio dei risultati ottenuti.

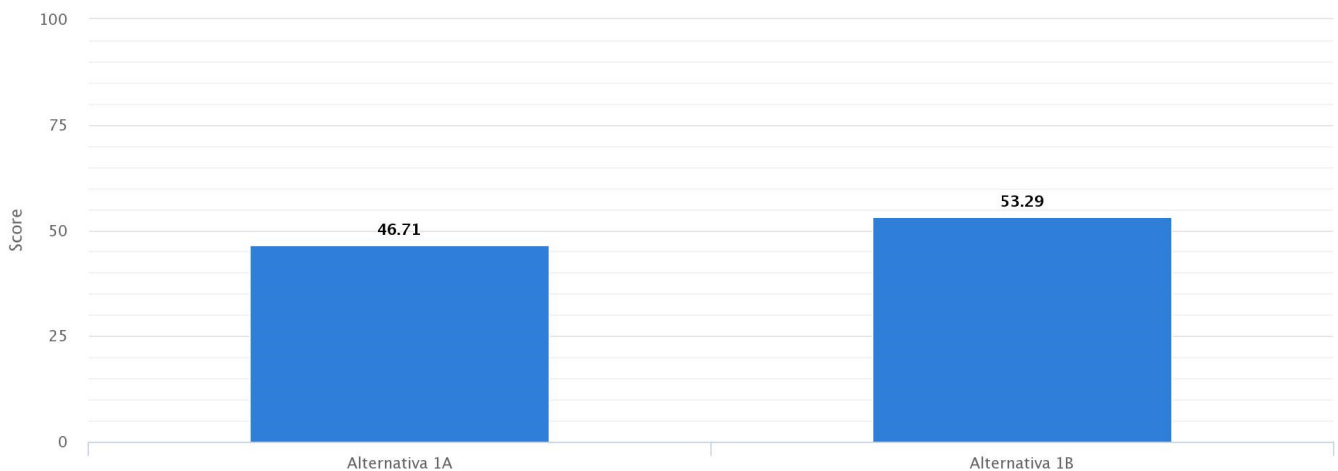


Figura 10 - Ranking finale con le varie alternative progettuali

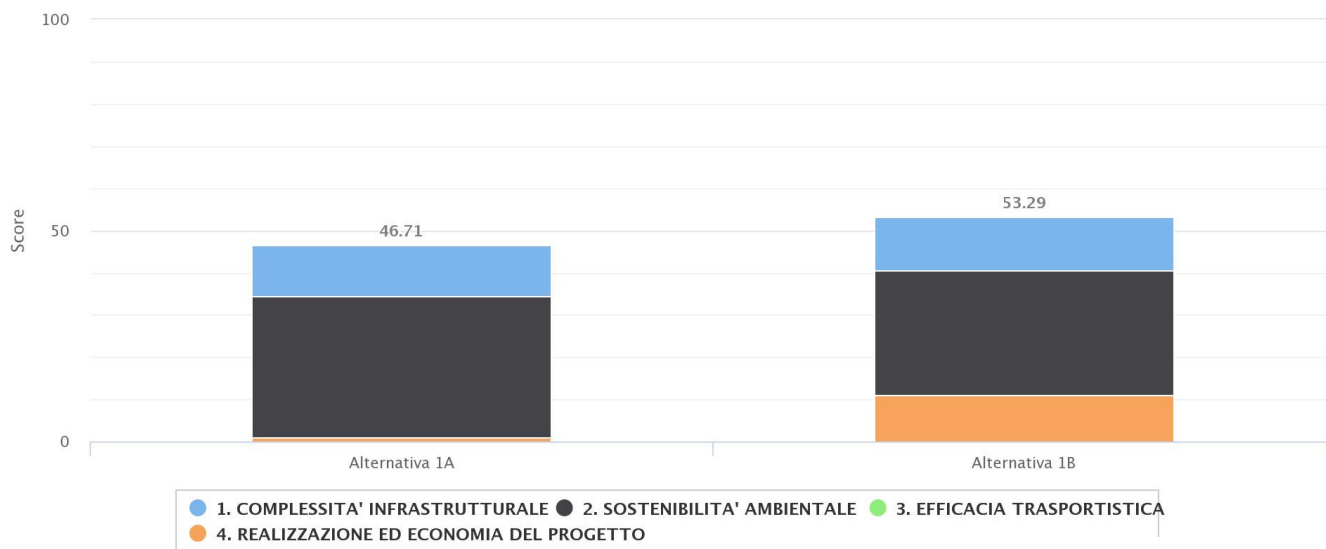


Figura 11 - Ranking finale con ripartizione delle quote di contributo al risultato di ciascuna categoria

La seguente tabella riporta il dettaglio dei punteggi ottenuti dalle due alternative nelle singole categorie analizzate.

Tabella 17 - Dettaglio delle quote di contributo al risultato di ciascuna categoria

CATEGORIE	Alternativa 1A	Alternativa 1B
Complessità infrastrutturale	12.50	12.50
Sostenibilità ambientale	33.21	29.79
Realizzazione ed economia del progetto	1	11.00
Punteggio complessivo	46.71	53.29

Nel seguente grafico si riporta la ripartizione delle quote di contributo al risultato di ciascun criterio.

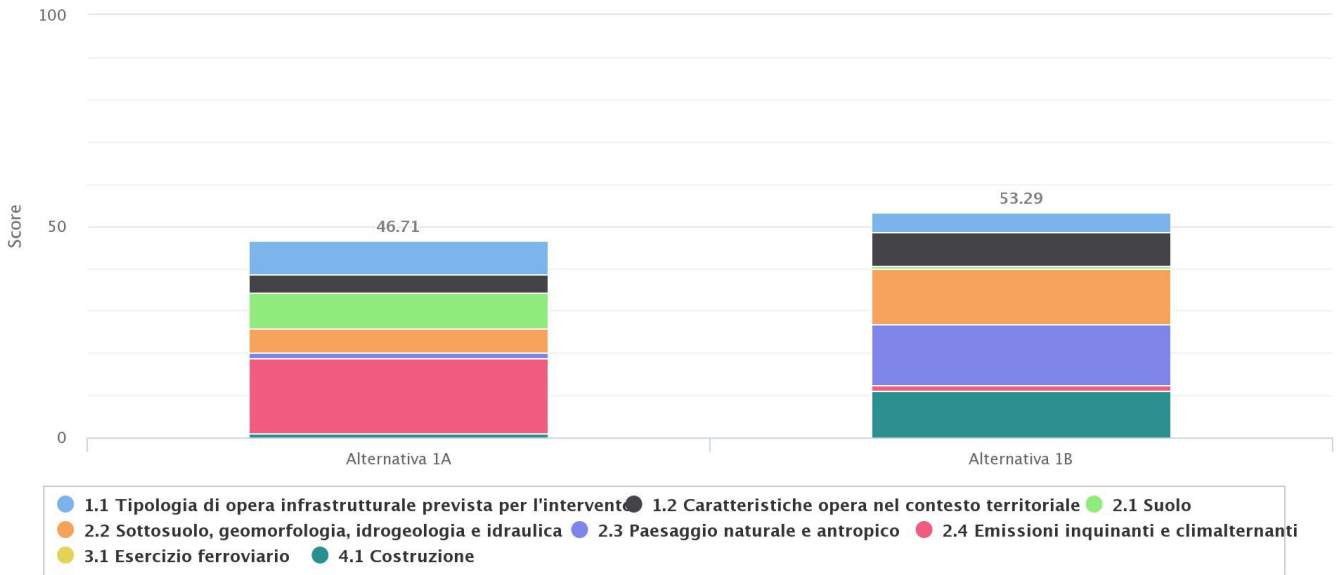


Figura 12 - Ranking finale con ripartizione delle quote di contributo al risultato di ciascun criterio

Nel seguente grafico si riporta la ripartizione delle quote di contributo al risultato di ciascun indicatore.

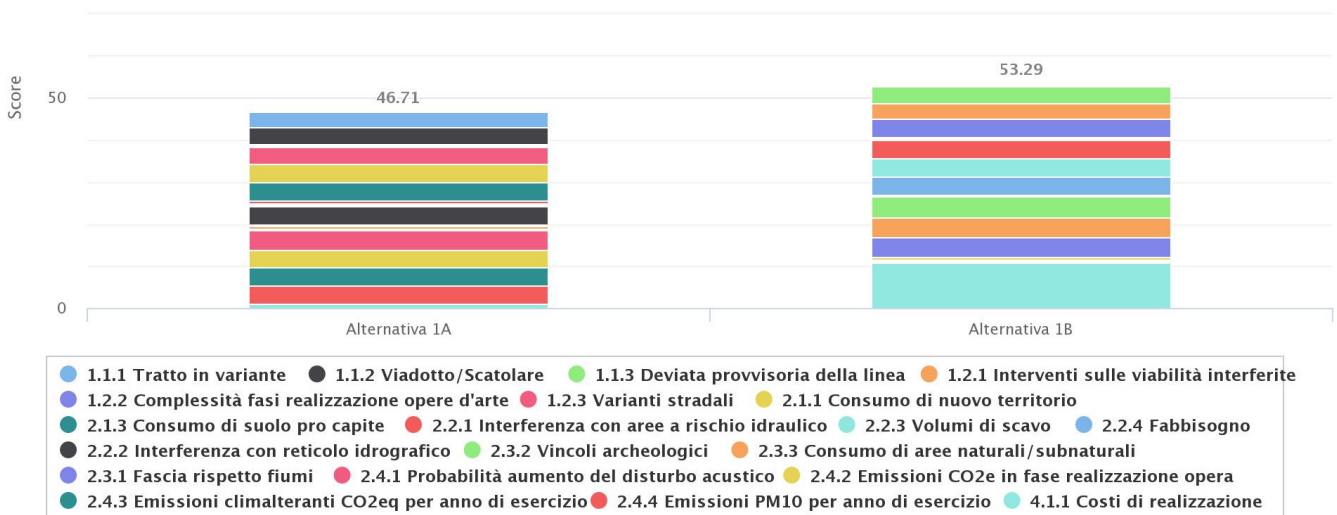


Figura 13 - Ranking finale con ripartizione delle quote di contributo al risultato di ciascun indicatore

4.6 Analisi di sensitività

L'analisi di sensitività mira a studiare la variazione della soluzione "giustificata" alla variazione degli elementi che compaiono nella valutazione e / o nella loro struttura (composizione e pesi associati). In particolare, l'obiettivo è determinare un intervallo di variazione (intervallo di stabilità) all'interno del quale la soluzione ottimale non cambia.

Indaga la stabilità o la robustezza della soluzione ottimale identificando gli elementi più sensibili del modello, vale a dire quelli per i quali anche una piccola variazione porta a variazioni significative nei risultati.

Il seguente grafico rappresenta precisamente gli intervalli ammissibili entro i quali i pesi delle categorie identificate possono cambiare senza cambiare la classifica finale. Infatti, gli intervalli individuati dall'analisi di sensitività (rappresentati nelle figure seguenti e distinti per categorie e per criteri) mostrano il range entro cui possono variare i pesi attribuibili affinché l'alternativa 1B continui ad essere quella "giustificata".

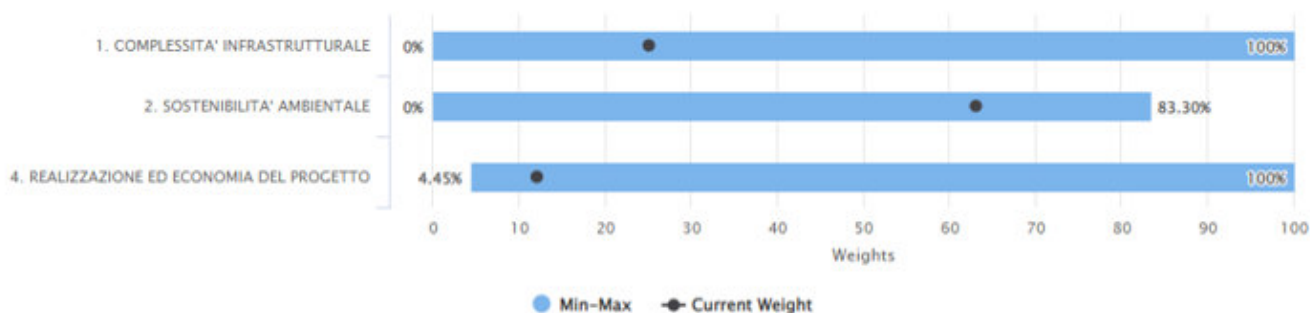


Figura 14 - Analisi di sensitività

Con il fine di fornire uno strumento di supporto alle decisioni e una completezza di informazioni sulle analisi svolte, si riportano i grafici che illustrano la classificazione delle soluzioni alternative al variare dei pesi assegnati a ciascuna categoria.

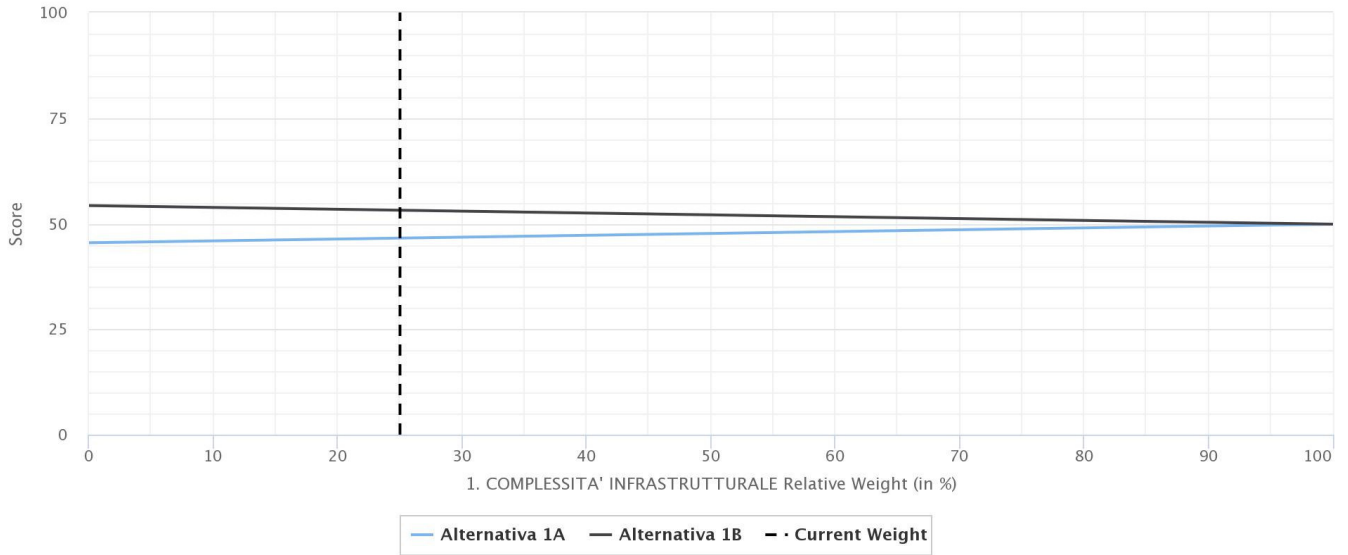


Figura 15 - Ranking soluzioni progettuali in funzione del peso assegnato alla categoria "Completeness Infrastrutturale"

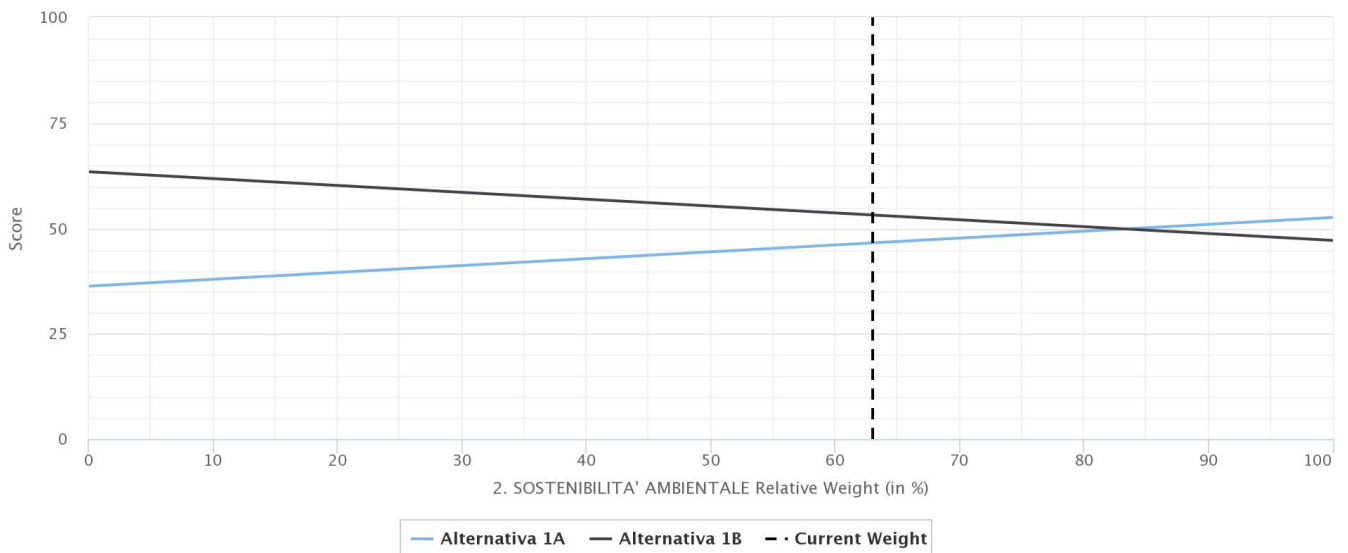


Figura 16 - Ranking soluzioni progettuali in funzione del peso assegnato alla categoria "Sostenibilità ambientale"

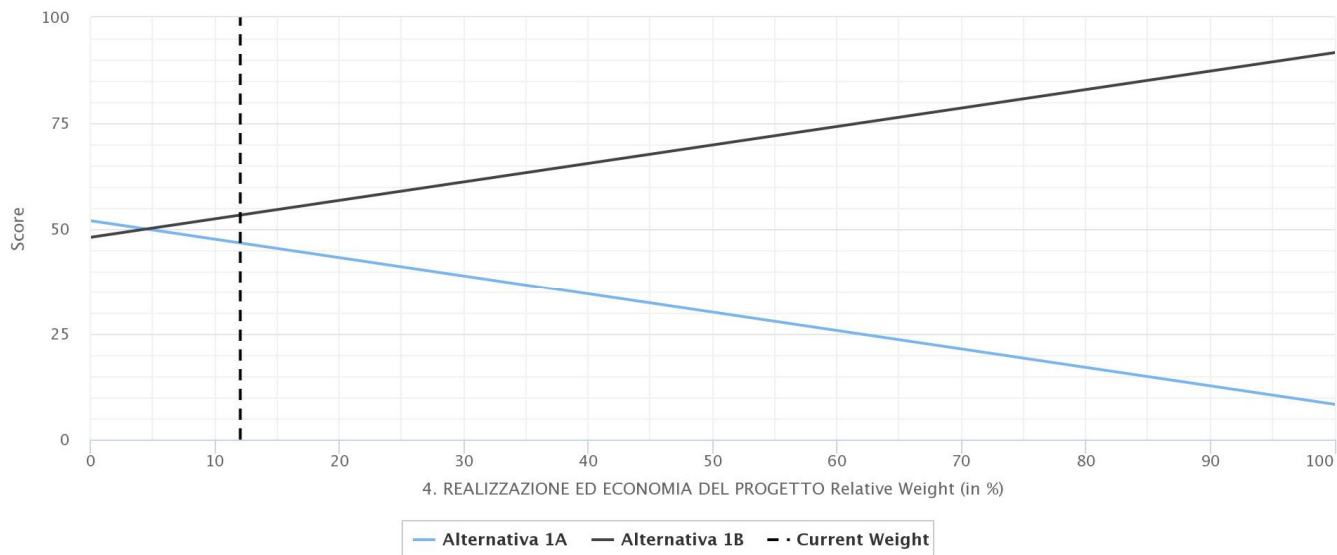


Figura 17 - Ranking soluzioni progettuali in funzione del peso assegnato alla categoria "Realizzazione e Economia del progetto"

Per quanto riguarda l'analisi di stabilità dei risultati si può affermare che per tutte le categorie la robustezza dell'alternativa (1B) risulta essere estremamente accettabile in quanto si conferma essere la giustificata per la maggior parte del campo di variabilità di ciascuna di esse.

5 ANALISI MULTICRITERIA TRATTA 3: SILIQUA

Sono di seguito analizzate le tre possibili alternative (due in variante plano-altimetrica ed una in affiancamento all'attuale corridoio esistente) per la Tratta 3 relativa al Raddoppio Siliqua (i)-Punto intermedio (Nuovo P.C.).

5.1 Descrizione delle alternative progettuali

Di seguito si riporta una descrizione sintetica di ciascuna alternativa progettuale.



Figura 18 – Tratta 3 Siliqua: varianti 3A, 3B e 3C

5.1.1 Alternativa 3A

L'alternativa 3A (tratto magenta in Figura 18) prevede che il tracciato si sviluppi in affiancamento alla linea storica, con brevi tratti in variante per adeguamento dei raggi di curvatura alla velocità VC di 200 km/h. La lunghezza complessiva è circa pari a 11,2 km. La linea in progetto corre per circa 9 km (ovvero esclusi i primi 2,2 km) parallelamente ed in adiacenza al Riu Cixerri, motivo per cui è previsto l'innalzamento della livelletta ferroviaria rispetto alla quota attuale al fine di garantire la compatibilità idraulica della nuova infrastruttura. La maggior parte dell'intervento si configura in rilevato, ad eccezione di alcune opere di scavalco puntuale sui corsi d'acqua esistenti e dell'opera di trasparenza (Gallerodotto) tra le progressive 12+200 e 13+200 circa, necessaria a mantenere invariate le condizioni ante-operam delle aree interessate da esondazione secondo

cui attualmente è previsto il sormonto della linea storica. Il raddoppio in sede è previsto lato Sud fino alla Stazione di Siliqua per poi passare lato Nord fino a fine tratta, ad interasse circa di 7.0m, e sarà realizzato in due fasi operative distinte: costruzione del nuovo rilevato in variante altimetrica con spostamento dell'esercizio ferroviario su quest'ultimo e successivamente l'innalzamento della linea storica in stretto affiancamento. Nell'alternativa in oggetto, in conseguenza alla modifica della livelletta in ingresso ed in uscita dalla stazione di Siliqua, si rende necessario il rifacimento completo della stazione in sede per prevederne l'innalzamento, nonché il rifacimento del punto di scavalco della strada statale SS293 in ingresso a Siliqua.

Dal punto di vista della viabilità per l'alternativa 3A è riportato nella Tabella 18 l'elenco delle viabilità interferite con le relative indicazioni in merito all'intervento di risoluzione previsto ove necessario, nonché l'elenco delle nuove viabilità:

Tabella 18 – Interventi in viabilità per l'alternativa 3A

TRATTA	PK		RISOLUZIONE (SI/NO)	TIPOLOGIA DI INTERVENTO
3A	9+500	Soppressione PL - Sterrato Ex Caserma	SI	Cavalcaferrovia
3A	9+650	Complanare al ferroviario	SI	Complanare - affiancamento ferrovia
3A	10+900-11+850	Complanare al ferroviario	SI	Complanare - affiancamento ferrovia
3A	11+850	Soppressione PL	SI	Cavalcaferrovia
3A	12+950	Cavalcaferrovia SS293 Di Giba	SI	Cavalcaferrovia
3A	13+450	Adiacente Via A. Einstein	NO	
3A	14+720	Sottovia esistente	NO	
3A	14+750-15+700	Complanare al ferroviario	SI	Complanare - affiancamento ferrovia
3A	20+050	Cavalcaferrovia SP88	SI	Cavalcaferrovia
3A	20+050	Strada sterrata	SI	variante stradale per rifacimento CVF SP88

5.1.2 Alternativa 3B

L'alternativa 3B (tratto ciano in Figura 18) si configura in completa variante rispetto all'attuale linea passando a monte dell'abitato di Siliqua, per uno sviluppo complessivo di 11,9 km circa. Tale variante sfrutta il corridoio infrastrutturale della adiacente strada statale SS130, rispetto alla quale corre parallelo fino allo svincolo di collegamento con Via Iglesias, per poi scendere a Sud e rinnestarsi sul sedime esistente a fine tratta. La linea in progetto è caratterizzata per tutta la sua estensione da rilevati alti alternati a viadotti, questi ultimi necessari alla risoluzione delle interferenze con le diverse viabilità intercettate lungo il tracciato nonché allo scavalco dei corsi

d'acqua presenti. Questa configurazione prevede la delocalizzazione dell'attuale stazione di Siliqua, riubicandola a Nord superato lo svincolo della SS130.

Nella successiva Tabella 19 è riportato l'elenco delle viabilità interferite con le relative indicazioni in merito all'intervento di risoluzione previsto ove necessario, nonché l'elenco delle nuove viabilità, per l'alternativa 3B:

Tabella 19 – Interventi in viabilità per l'alternativa 3B

TRATTA	PK		RISOLUZIONE (SI/NO)	TIPOLOGIA DI INTERVENTO
3B	9+520	SP90	NO	
3B	11+460	Strada sterrata	NO	
3B	12+690	Strada sterrata	NO	
3B	14+070	SS293	NO	
3B	15+260	Via Leonardo Da Vinci	SI	Cavacaferrovia
3B	16+280	Svincolo tra Via Iglesias e SS130	NO	
3B	16+580	Via Iglesias	NO	
3B	17+460	Via Iglesias	NO	
3B	17+460-19+580	Complanare al ferroviario	SI	Complanare - affiancamento ferrovia
3B	19+180	Via Iglesias	SI	Cavalcaferrovia
3B	20+770	SP88	SI	Cavalcaferrovia
3B	20+770	Strada sterrata	SI	variante stradale per rifacimento CVF SP88

5.1.3 Alternativa 3C

L'alternativa 3C (tratto rosso in Figura 18) si identifica come soluzione intermedia tra le due precedentemente descritte, prevedendo nella prima porzione (2,2 km circa) l'affiancamento alla linea esistente in analogia a quanto descritto per l'alternativa 3A, per poi sfioccare e proseguire in variante a monte dell'abitato di Siliqua per una lunghezza totale di 12 km circa. Rispetto all'alternativa 3B il tratto in variante nella prima parte si allontana dal corridoio infrastrutturale della SS130, correndo di fatto attorno all'abitato. La linea in progetto è pertanto caratterizzata per la parte in affiancamento da interventi in rilevato in analogia all'alternativa 3A, mentre per la parte in variante da rilevati alti alternati a viadotti in analogia all'alternativa 3B, incontrando di fatto le stesse interferenze. Anche questa configurazione prevede la delocalizzazione dell'attuale stazione di Siliqua, riubicandola a Nord a valle dello svincolo della SS130 su Via Iglesias.

Interferenza comune a tutte e tre le varianti è il cavalcaferrovia della strada provinciale SP88, ubicato a fine tratta (20+378 della LS), di cui è pertanto previsto il rifacimento.

Dal punto di vista della viabilità, per l'alternativa 3C, è riportato nella Tabella 20 l'elenco delle viabilità interferite con le relative indicazioni in merito all'intervento di risoluzione previsto ove necessario, nonché l'elenco delle nuove viabilità:

Tabella 20 – Interventi in viabilità per l' alternativa 3C

TRATTA	PK		RISOLUZIONE (SI/N)	TIPOLOGIA DI INTERVENTO
3C	9+650	Soppressione PL - Sterrato Ex Caserma	SI	Cavalcaferrovia
3C	12+050	Strada sterrata	NO	
3C	12+350	SP90	NO	
3C	12+870	Strada sterrata	NO	
3C	14+230	SS293	NO	
3C	15+420	Via Leonardo Da Vinci	NO	
3C	16+450	Svincolo	NO	
3C	16+730	Via Iglesias	NO	
3C	17+640	Via Iglesias	NO	
3C	17+640-19+350	Complanare al ferroviario	SI	Complanare - affiancamento ferrovia
3C	19+350	Via Iglesias	SI	Sottovia
3C	20+950	SP88	SI	Cavalcaferrovia
3C	20+950	Strada sterrata	SI	variante stradale per rifacimento CVF SP88

5.2 Analisi di confronto

5.2.1 Categorie, criteri ed indicatori di valutazione

Tutti i criteri e i relativi indicatori sono stati definiti in funzione del grado di approfondimento progettuale e delle informazioni settoriali disponibili in forma omogenea per tutto il territorio interessato e per le alternative di tracciato oggetto dello studio.

Nell'ambito della AMC condotta, le alternative progettuali sono state valutate relativamente alle seguenti quattro categorie:

1. Complessità infrastrutturale;
2. Sostenibilità ambientale;

3. Efficacia trasportistica (risultata simile per le alternative analizzate, pertanto esclusa nell'analisi multicriteria);
4. Realizzazione ed economia del progetto.

Ciascuna categoria è stata a sua volta suddivisa in criteri di valutazione per i quali sono stati definiti uno o più indicatori attraverso cui poter realizzare il confronto previsto dal metodo Promethee.

Di seguito si riporta lo schema di articolazione degli elementi di confronto definiti alla base dell'analisi.

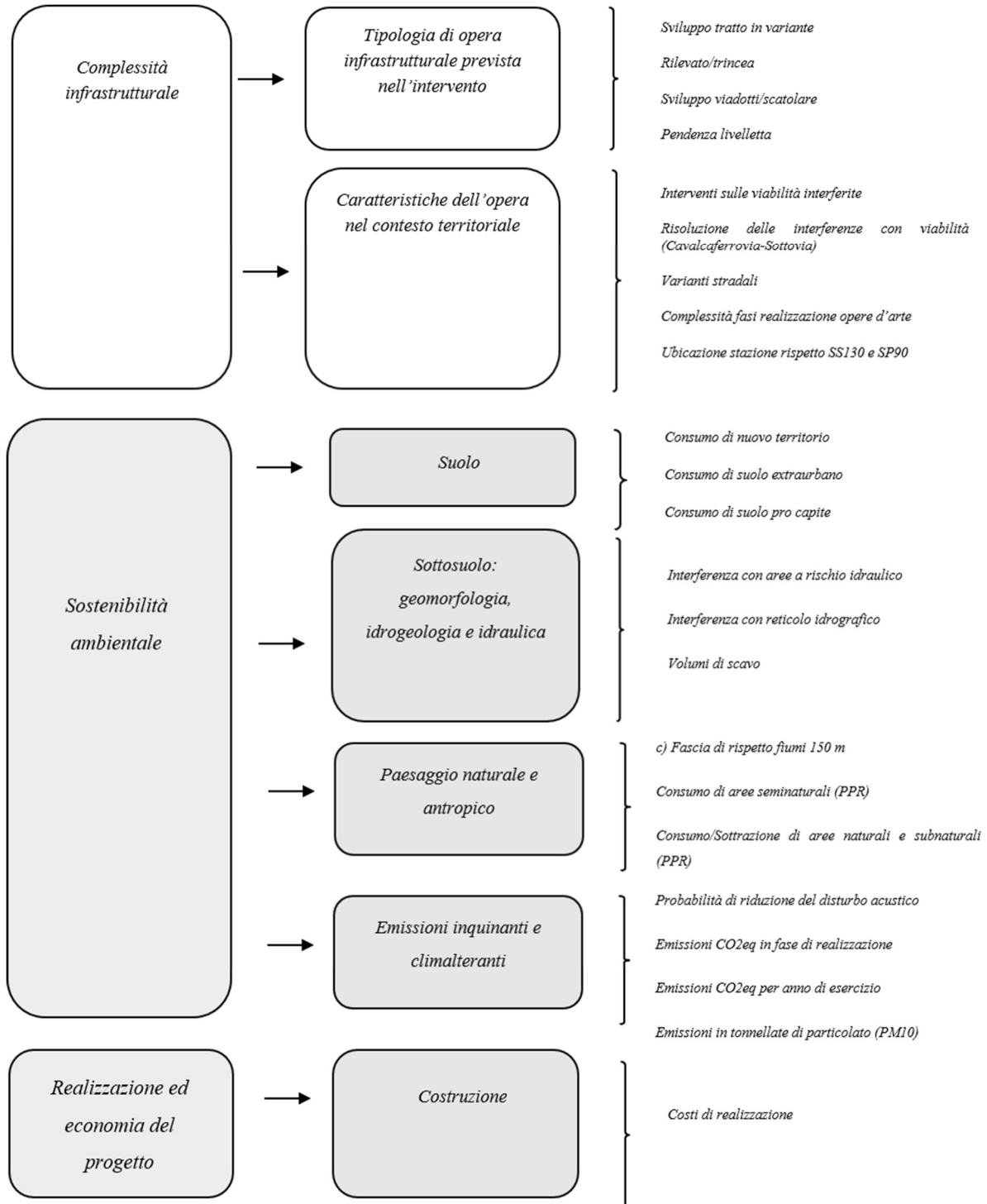


Figura 19 - Categorie, criteri e indicatori di valutazione per l'analisi multicriteria Siliqua

5.3 Elementi di confronto

5.3.1 Categoria: COMPLESSITÀ INFRASTRUTTURALE

Con la categoria “*Complessità infrastrutturale*” si vuole raggruppare la valutazione relativa alle tipologie di opere infrastrutturali previste nell'intervento e si suddivide nei criteri “Tipologia di opera infrastrutturale prevista nell'intervento” e “Caratteristiche dell'opera nel contesto territoriale”.

Di seguito è riportata una descrizione degli indicatori suddivisi per criterio di valutazione.

Tipologia di opera infrastrutturale prevista nell'intervento

Nello specifico gli indicatori analizzati sono:

1. **Tratto in variante;**
2. **Rilevato/trincea;**
3. **Viadotto/scatolare;**
4. **Pendenza della livelletta.**

L'indicatore “**Tratto in variante**” è misurato come estensione dei tratti di linea su nuovo sedime.

L'indicatore “**Rilevato/trincea**” è misurato in lunghezza di tratti di linea allo scoperto.

L'indicatore “**Viadotto/scatolare**” è misurato in lunghezza di tratti di linea in viadotto/opera scatolare.

L'indicatore “**Pendenza della livelletta**” è intesa come la massima pendenza della livelletta ferroviaria lungo l'alternativa.

Nella seguente tabella è riportata la quantificazione degli indicatori considerati per il criterio tipologia di opera infrastrutturale prevista per ciascuna soluzione progettuale.

	RADDOPPIO DECIMOMANNU VILLAMASSARGIA					
	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
ANALISI MULTICRITERIA	COMMESSA RR0P	LOTTO 00	CODIFICA F 16 RG	DOCUMENTO EF 00 05 001	REV. B	FOGLIO 55 di 88

Tabella 21 - Categoria "Complessità infrastrutturale" Criterio "Tipologia di opera infrastrutturale prevista nell'intervento"

CRITERIO	INDICATORE					ALTERNATIVE		
Definizione	Definizione	Metodo di valutazione	Unità di misura	F.ni di normalizzaz.	Alternativa 3A	Alternativa 3B	Alternativa 3C	
1.1 Tipologia di opera infrastrutturale prevista nell'intervento	1.1.1	TRATTO IN VARIANTE rispetto ad un tracciato esistente (ferrovia-autostrada)	Estensione dei tratti su nuovo sedime	m	min	0	11 900	9 500
	1.1.2	RILEVATO/TRINCEA	Estensione tratti in rilevato/trincea	m	min	9 970	7 800	10 540
	1.1.3	VIADOTTO/SCATOLARE	Estensione tratti per tipologia di opere d'arte	m	min	1 230	4 100	1 460
	1.1.4	Pendenza della livelletta	Massima pendenza della livelletta ferroviaria	%	min	0.9	1.2	1.3

Caratteristiche opera nel contesto territoriale

Nello specifico gli indicatori analizzati sono:

- 1. Interventi sulle viabilità interferite;**
- 2. Risoluzione interferenze con viabilità (Cavalcaferrovia – sottovia);**
- 3. Varianti stradali;**
- 4. Complessità fasi realizzazione delle opere d'arte;**
- 5. Ubicazione Stazione Siliqua rispetto viabilità di accesso (SS130 e SP90);**

L'indicatore "**Interventi sulle viabilità interferite**" è espresso in termini percentuali ed indica il rapporto tra il numero di viabilità interferite per le quali risultano necessari interventi (cavalcaferrovia, sottopassi, deviazioni stradali) sul numero totale delle viabilità interferenti con la linea ferroviaria.

L'indicatore "**Risoluzione interferenze con viabilità (Cavalcaferrovia – sottovia)**" indica il numero di cavalcaferrovia e sottovia che bisognerà realizzare per l'alternativa in esame.

- Per l'alternativa A è prevista la realizzazione di 4 cavalcaferrovia: 2 cavalcaferrovia sono previsti per la soppressione di passaggi a livello posti alle pk 9+520 e pk 11+860 e gli altri 2 alle pk 12+950 pk 20+050.

- Per l'alternativa B in variante è prevista la realizzazione di 3 cavalcaferrovia: il primo alla pk 15+260 su "Via Leonardo da Vinci", il secondo su "Via Iglesias" alla pk 19+180 e il terzo alla pk 20+770 sulla SP88.
- Per l'alternativa C in variante è prevista la realizzazione di 2 cavalcaferrovia: il primo è previsto per la soppressione del passaggio a livello di pk 9+650, il secondo invece è previsto alla pk 20+950 sulla SP88.
- Per l'alternativa C il nuovo sottovia si realizzerà alla pk 19+350 in corrispondenza di Via Iglesias.

L'indicatore "**Varianti stradali**" è espresso in quantità e indica il numero di deviazioni stradali che bisogna prevedere per l'alternativa in esame.

- Per l'alternativa A sono previste 3 varianti stradali:
 - la prima si trova alla pk 9+650, il rifacimento del nuovo cavalcaferrovia alla pk 9+520 comporta la riconnessione della viabilità esistente su "Sterrato Ex Caserma",
 - la seconda e la terza variante stradale sono due viabilità complanari che si sviluppano rispettivamente dalla pk 10+900 alla pk 11+850 a sud della linea ferroviaria e dalla pk 14+750 alla pk 15+700 a nord della linea ferroviaria.
- Per l'alternativa B è prevista una nuova complanare a nord della linea ferroviaria che si sviluppa dalla pk 17+460 alla pk 19+180 per consentire l'accesso ai terreni agricoli.
- Per l'alternativa C è prevista una nuova complanare a nord della linea ferroviaria che si sviluppa dalla pk 17+640 alla pk 19+350 per consentire l'accesso ai terreni agricoli.

L'indicatore "**Complessità fasi realizzazione delle opere d'arte**" è di tipo qualitativo (*M-B* = medio-bassa; *E* = elevata) ed esprime il grado di complessità delle lavorazioni necessarie alla costruzione delle opere d'arte (e.g. ponti/viadotti).

- Per l'alternativa A in affiancamento all'esistente, la complessità elevata delle lavorazioni deriva proprio dalla vicinanza alla linea storica; ciò richiederà la realizzazione di opere

provvisionali di maggiore rilevanza, specialmente in presenza di fasizzazione e/o per garantire l'esercizio ferroviario.

- Per le alternative B e C in variante, le lavorazioni necessarie per la realizzazione delle opere d'arte non sono subordinate a particolari vincoli di fasizzazione e/o di esercizio ferroviario. Pertanto, la relativa complessità può ritenersi medio-bassa.

L'indicatore di tipo qualitativo, per essere inserito nel software specialistico, deve essere tradotto in termini quantitativi. Tali parametri sono stati considerati con i seguenti valori: $M-B = 0.5$; $E = 1$. Per l'indicatore **"Ubicazione rispetto viabilità di accesso (SS130 e SP90)"** è stata valutata la distanza della nuova Stazione di Siliqua rispetto alle principali infrastrutture viarie a servizio del centro abitato per valutare gli impatti della delocalizzazione della stessa nel caso delle alternative 3B e 3C.

Nella seguente tabella è riportata la quantificazione degli indicatori considerati per il criterio tipologia di opera infrastrutturale prevista per ciascuna alternativa progettuale.

Tabella 22 -Categoria "Complessità infrastrutturale" Criterio "Caratteristiche opera nel contesto territoriale"

CRITERIO	INDICATORE					ALTERNATIVE		
	Definizione	Definizione	Metodo di valutazione	Unità di misura	F.ni di normalizzaz.	Alternativa 3A	Alternativa 3B	Alternativa 3C
1.2 Caratteristiche opera nel contesto territoriale	1.2.1	Interventi sulle viabilità interferite	Numero di interventi risolti/interventi tot	%	min	78	30	27
	1.2.2	Risoluzione interferenze con viabilità (cavalcaferrovia-sottovia)	Numero cavalcaferrovie e sottovie	cad	min	4	3	3
	1.2.3	Varianti stradali	Numero varianti stradali necessarie	cad	min	3	1	1
	1.2.4	COMPLESSITA' FASI REALIZZAZIONE OPERE D'ARTE	Complessità medio-bassa (M-B)/elevata(E) per la realizzazione delle opere d'arte (specialmente in stretto affiancamento alla linea esistente, in presenza di esercizio e/o di fasizzazione)	qualitativo (-)	min	E	M-B	M-B
	1.2.5	Ubicazione Stazione Siliqua rispetto viabilità di accesso	distanza rispetto SS130 e SP90	m	min	2 500	4 000	4 000

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO</p>	RADDOPPIO DECIMOMANNU VILLAMASSARGIA					
	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
ANALISI MULTICRITERIA	COMMESSA RR0P	LOTTO 00	CODIFICA F 16 RG	DOCUMENTO EF 00 05 001	REV. B	FOGLIO 58 di 88

5.3.2 Categoria: **SOSTENIBILITÀ AMBIENTALE**

Con la categoria “*sostenibilità ambientale*” si vuole raggruppare la valutazione in toto dei criteri relativi al suolo; al sottosuolo (includendo i temi relativi alla geomorfologia, idrogeologia e idraulica) e al paesaggio naturale e antropico (includendo i temi relativi all’ambiente e all’archeologia).

Di seguito è riportata una descrizione dei tre criteri sopracitati e degli indicatori utilizzati per la misurazione degli stessi, con l’evidenza delle stime quantitative ottenute.

Suolo

Per il criterio “*Suolo*”, al fine di effettuare una comparazione quanto più oggettiva ed efficace delle alternative, sono stati scelti i seguenti indicatori:

- 1. Consumo di nuovo territorio;**
- 2. Consumo di suolo extraurbano;**
- 3. Consumo di suolo procapite.**

Per quanto riguarda l’indicatore “**consumo di nuovo territorio**”, l’analisi del consumo di suolo è stata condotta sulle diverse alternative di tracciato considerando l’impronta “tipologica media” al suolo del solido ferroviario, non sono stati considerati eventuali altre aree derivanti da modifiche alle viabilità esistenti o per la presenza di fabbricati tecnologici. Lo scopo di utilizzare tale indicatore è valorizzare la soluzione che limiti l’impatto dovuto all’occupazione di nuovo territorio. Si evidenzia che la quasi totalità del territorio interessato dall’intervento, ad esclusione di due o tre aree naturali e seminaturali riportate nel seguito, ricade in aree agricole o a prato-pascolo che pertanto sostanzialmente coincidono come consumo. Le analisi effettuate hanno riportato come migliore l’alternativa A che prevede il tracciato in affiancamento all’esistente e pertanto ha un consumo di suolo ridotto rispetto alle altre alternative.

Per quanto riguarda “**consumo di suolo extraurbano**”, l’indicatore ha lo stesso significato del precedente, riferendosi però a territori posti in ambito extraurbano.

	RADDOPPIO DECIMOMANNU VILLAMASSARGIA					
	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
ANALISI MULTICRITERIA	COMMESSA RR0P	LOTTO 00	CODIFICA F 16 RG	DOCUMENTO EF 00 05 001	REV. B	FOGLIO 59 di 88

Per quanto riguarda l'indicatore "**consumo di suolo pro capite**" è stato considerato che il consumo di suolo è un processo associato alla perdita di una risorsa ambientale fondamentale, limitata e non rinnovabile, dovuta all'occupazione di una superficie originariamente agricola, naturale o seminaturale con una copertura artificiale.

Pertanto, nella valutazione delle alternative progettuali risulta necessario valutare l'impatto dell'infrastruttura in termini di suolo consumato.

La relazione tra il tasso del consumo di suolo ed il tasso demografico è alla base degli Obiettivi di Sviluppo Sostenibile, in particolare rappresenta una misura statistica utile ad "assicurare che il consumo di suolo non superi la crescita demografica" ed è inclusa nell'indicatore 11.3.1 del "Rapporto SDGs 2021-Informazioni statistiche per l'Agenda 2030 in Italia".

Il comune di Siliqua registra all'anno 2020 un valore di suolo consumato pari a 285 ettari⁵ a fronte di una popolazione di 3.712 abitanti⁶.

Le alternative di progetto prevedono un consumo di suolo pari a:

- Alternativa 3A: 16.800 m² di aree seminaturali, 2.000 m² di aree naturali e subnaturali e 192.700 m² di suolo agricolo;
- Alternativa 3B: 21.600 m² di aree seminaturali, 5.600 m² di aree naturali e subnaturali e 367.300 m² di suolo agricolo;
- Alternativa 3C: 18.400 m² di aree seminaturali, 2.000 m² di aree naturali e subnaturali e 423.100 m² di suolo agricolo.

Al fine di quantificare la soluzione migliore in termini di minor impatto sul consumo di suolo è stato preso come riferimento l'indicatore "impermeabilizzazione e consumo di suolo pro capite" incluso nelle misure statistiche diffuse dall'Istat⁷ rispetto agli indicatori SDGs. Tale analisi è stata declinata rapportando i dati progettuali relativi al consumo di aree naturali, seminaturali e agricole delle alternative con il numero di abitanti di Siliqua. Come si evince dalla figura che segue l'Alternativa

⁵ ISPRA 2020 – I dati sul consumo di suolo.

⁶ Istat – Dati demografici

⁷ Tali misure rappresentano i KPI di monitoraggio, utilizzati a livello nazionale, volti a quantificare lo stato di raggiungimento degli obiettivi SDGs.

3C determina maggiore consumo di suolo pro-capite per il Comune di riferimento, presentando un maggior impatto in termini di superficie di suolo agricolo occupato dall'impronta di progetto, mentre, l'Alternativa 3A prevede un consumo minore di suolo rispetto alle altre alternative proposte.

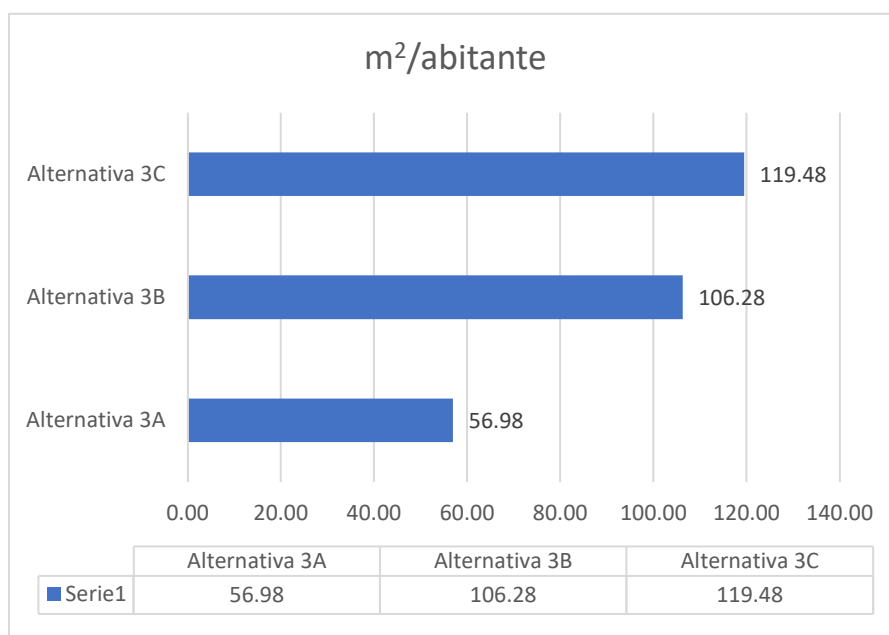



Figura 20 - Consumo di suolo pro-capite

Nella seguente tabella è riportata la quantificazione dell'indicatore considerato per il criterio suolo.

Tabella 23 -Categoria "Sostenibilità ambientale" - Criterio "Suolo"

CRITERIO		INDICATORE				ALTERNATIVE		
Definizione	Definizione	Metodo di valutazione	Unità di misura	F.ni di normalizzaz.	Alternativa 3A	Alternativa 3B	Alternativa 3C	
2.1 SUOLO	2.1.1	CONSUMO DI NUOVO TERRITORIO	Sommatoria delle superfici di nuova occupazione interessate dall'impronta di progetto delle alternative	m ²	min	211 500	394 500	443 500
	2.1.2	CONSUMO DI SUOLO EXTRAURBANO	Sommatoria delle superfici extraurbane occupate dall'impronta di progetto delle alternative	m ²	min	207 200	394 500	443 500
	2.1.3	Consumo di suolo pro capite	consumo di suolo in m2 previsto dalle opere rapportato al numero di abitanti residenti nel comune di Augusta	m ² /Abitante	min	56.98	106.28	119.48

	RADDOPPIO DECIMOMANNU VILLAMASSARGIA					
	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
ANALISI MULTICRITERIA	COMMESSA RR0P	LOTTO 00	CODIFICA F 16 RG	DOCUMENTO EF 00 05 001	REV. B	FOGLIO 61 di 88

Sottosuolo: Geomorfologia, idrogeologia e idraulica

Per il criterio “Sottosuolo: geomorfologia, idrologia e idraulica”, al fine di effettuare una comparazione quanto più oggettiva ed efficace delle alternative, sono stati scelti i seguenti indicatori:

1. **Interferenze area a rischio idraulico**
2. **Interferenza con reticolo idrografico**
3. **Volumi di scavo**

L'indicatore “**Interferenza con area a rischio idraulico**” è di tipo quantitativo ed è espresso come sommatoria (lunghezza, in metri) dei tratti allo scoperto dei vari tracciati ipotizzati interferenti con le aree a rischio/pericolosità P2 ($Tr = 200$ anni) definite nell'ambito della pianificazione di bacino (P.G.R.A.) vigente. Sono ricompresi tutti i corsi d'acqua caratterizzati da aree di pericolosità idraulica, ovvero “attenzionati” dall'Autorità di bacino competente, che interessano la linea ferroviaria esistente o il tracciato alternativo.

L'indicatore “**interferenza con il reticolo idrografico**” individua il numero (N) di intersezioni con il reticolo idrografico esistente dei tratti allo scoperto dei vari tracciati ipotizzati. Sono ricompresi invece tutti i corsi d'acqua interferiti, che, nel caso dei tracciati alternativi, richiedono la realizzazione di un'opera di attraversamento (ponte/viadotto o tombino) ma che non necessariamente siano “attenzionati” per scarsa officiosità idraulica o siano caratterizzati da aree di pericolosità/rischio.

Pertanto, è ragionevole considerare più critico l'indicatore “Interferenza con area a rischio idraulico” perché rappresentativo/indice di una pericolosità o un rischio conclamato, pre-esistente sul territorio, rispetto a quest'ultimo.

Dal punto di vista dei “**volumi di scavo**”, ossia delle terre e delle rocce prodotte dalla realizzazione delle opere ferroviarie e stradali e dei materiali di risulta da gestire in corso d'opera, è da considerare che tutti i tracciati sono caratterizzati da assenza di trincee e Gallerie e pertanto la produzione di materiale deriva dallo scavo delle fondazioni delle opere d'arte (viadotti e

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO	RADDOPPIO DECIMOMANNU VILLAMASSARGIA					
	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
ANALISI MULTICRITERIA	COMMESSA RR0P	LOTTO 00	CODIFICA F 16 RG	DOCUMENTO EF 00 05 001	REV. B	FOGLIO 62 di 88

scatolari), nonché dallo scotico e bonifica del terreno al di sotto dei rilevati. In aggiunta a quanto descritto.

Nella seguente tabella è riportata la quantificazione degli indicatori considerati per il criterio Sottosuolo geomorfologia, idrologia e idraulica.

Tabella 24 -Categoria "Sostenibilità ambientale" - Criterio "Sottosuolo: Geomorfologia, idrogeologia e idraulica"

CRITERIO	INDICATORE					ALTERNATIVE		
Definizione	Definizione	Metodo di valutazione	Unità di misura	F.ni di normalizzaz.	Alternativa 3A	Alternativa 3B	Alternativa 3C	
2.2 SOTTOSUOLO: GEOMORFOLOGIA, IDROGEOLOGIA E IDRAULICA	2.2.1	INTERFERENZA CON AREA A RISCHIO IDRAULICO	Sommatoria dei tratti (lunghezza) interferenti con le aree a rischio/pericolosità P2 (Tr = 200 anni) da pianificazione di bacino (P.G.R.A.)	m	min	7 730	1 415	1 670
	2.2.2	INTERFERENZA CON RETICOLO IDROGRAFICO	Numero intersezioni con il reticolo idrografico	N	min	7	22	23
	2.2.3	VOLUMI DI SCAVO	volumi di terre e rocce prodotte dalla realizzazione delle opere ferroviarie e stradali	m3	min	259 000	355 000	300 000

Per quanto riguarda l'ambito Geologia, per l'interferenza con area a rischio geomorfologico: dall'esame della documentazione cartografica di PAI e Progetto IFFI per l'area in esame non si rilevano interferenze con aree a rischio geomorfologico per nessuno dei tracciati ipotizzati

Probabile presenza di gas: non essendo previsti scavi in galleria, non si ravvisa la presenza di rischio gas

Rischio Sismico: stante la mappa del rischio sismico, riportata dal Dipartimento di Protezione Civile ed aggiornata al 20 aprile 2021, i comuni interessati dai tracciati ipotizzati ricadono tutti in area a rischio sismico basso - R4 (Accelerazione con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni: $\leq 0,05g$; Accelerazione orizzontale massima convenzionale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico: $0,05g$)

In sintesi, non si ravvisano interferenze geologiche, geomorfologiche e sismiche negative per i tracciati ipotizzati, sulla base delle informazioni disponibili.

	RADDOPPIO DECIMOMANNU VILLAMASSARGIA					
	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
ANALISI MULTICRITERIA	COMMESSA RR0P	LOTTO 00	CODIFICA F 16 RG	DOCUMENTO EF 00 05 001	REV. B	FOGLIO 63 di 88

Paesaggio Naturale e antropico

Per il criterio “*Paesaggio naturale e antropico*”, al fine di effettuare una comparazione quanto più oggettiva ed efficace delle alternative, sono stati scelti i seguenti indicatori:

1. ***Attraversamento di aree con vincolo paesaggistico Art. 142 del D.Leg. 42/2004***
2. ***Vincoli archeologici ex art 10 D.Lgs 42/2004***
3. ***Consumi sottrazione di aree naturali e subnaturali (PPR)***


Gli indicatori “***Attraversamento di aree con vincolo paesaggistico Art. 142 del D.Leg. 42/2004***” e “***Vincoli archeologici ex art 10 D.Lgs 42/2004***” per quanto riguarda la sostenibilità ambientale, in materia di archeologia, sono stati esplicitati nel modo seguente: il primo parametro utilizzato è stata la presenza/assenza di aree di interesse archeologico ex dlgs 42\2004, art.142 lettera m, mentre il secondo parametro è la prossimità con vincoli archeologici ex art. 10 del Dlg. 42/2004, entro il raggio di 1 km dal tracciato

La verifica è stata effettuata tramite la consultazione delle risorse disponibili on-line.

Si evidenzia che in base agli esiti dello Studio Archeologico, redatto in relazione al tracciato scelto, secondo quanto previsto dalla normativa vigente in materia di “Verifica preventiva dell’interesse archeologico”, potrebbero essere individuate aree interessate dal progetto che la Soprintendenza territorialmente competente, in base a quanto previsto dall’art.25 del DLgs 50/2016, potrebbe valutare di “interesse archeologico”, richiedendo l’esecuzione di indagini archeologiche preventive.

Alternativa 3 A: Dalla verifica non risultano interferenze con aree di interesse archeologico ex dlgs 42\2004,art.142 lettera m e non si registrano prossimità con vincoli archeologici ex art. 10 del Dlg. 42/2004.

Alternativa 3 B: Dalla verifica non risultano interferenze con aree di interesse archeologico ex dlgs 42\2004,art.142 lettera m e non si registrano prossimità con vincoli archeologici ex art. 10 del Dlg. 42/2004.

	RADDOPPIO DECIMOMANNU VILLAMASSARGIA					
	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
ANALISI MULTICRITERIA	COMMESSA RR0P	LOTTO 00	CODIFICA F 16 RG	DOCUMENTO EF 00 05 001	REV. B	FOGLIO 64 di 88

Alternativa 3 C: Dalla verifica non risultano interferenze con aree di interesse archeologico ex dlgs 42/2004, art. 142 lettera m e non si registrano prossimità con vincoli archeologici ex art. 10 del Dlg. 42/2004.

Gli indicatori **“Attraversamento di aree con vincolo paesaggistico Art. 142 del D.Leg. 42/2004”** e **“Vincoli archeologici ex art 10 D.Lgs 42/2004”**, invece da un punto di vista ambientale, lo scopo dell'analisi comparativa è quello di evidenziare le interferenze delle alternative di tracciato con le aree tutelate dal D.Lgs 42/2004, Aree naturali protette così come definite dalla Legge Quadro sulle aree protette, n. 394 del 6 dicembre 1991 e Rete Natura 2000, ai sensi del DPR n. 357 del 8 settembre 1997, s.m. dal DPR n. 120 del 12 marzo 2003 (fonte: geoportale nazionale Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare).

In particolare, con riferimento alle aree interferenti con beni paesaggistici sono stati considerati i beni di cui all'artt. 136 e 142 e sono risultati interessati dalle opere i seguenti:

- Art.142 comma c) i fiumi, i torrenti, i corsi d'acqua iscritti negli elenchi previsti dal testo unico delle disposizioni di legge sulle acque ed impianti elettrici, approvato con regio decreto 11 dicembre 1933, n. 1775, e le relative sponde o piedi degli argini per una fascia di 150 metri ciascuna.

Gli indicatori sopra citati sono stati calcolati valutando l'interferenza in metri lineari con le aree sopra identificate e considerando il tracciato, nella sua interezza. I risultati mostrano che gli unici vincoli interessati direttamente dalle opere risultano essere quelli per l' "attraversamento di aree con vincolo paesaggistico Art. 142 del D. Lgs 42/2004 - comma c) Fascia di rispetto dei Fiumi 150m", rispetto a tale vincolo l'alternativa A in affiancamento alla linea esistente risulta essere meno efficace rispetto all'altra alternativa progettuale in quanto presenta un tratto in parallelismo con il Rio e conseguentemente con l'area di rispetto dello stesso, mentre l'alternativa B in variante evita tale parallelismo limitando l'interferenza al solo attraversamento.

Per l'indicatore **“Consumo/sottrazione di aree naturali e subnaturali (PPR)”**:

l'analisi è stata condotta sulle diverse alternative di tracciato considerando l'impronta "tipologica media" al suolo del solido ferroviario, non sono stati considerati eventuali altre aree derivanti da modifiche alle viabilità esistenti o per la presenza di fabbricati tecnologici. Tali aree sono segnalate dal PPR come aree di elevato valore paesaggistico; le valutazioni effettuate hanno evidenziato come migliore l'alternativa A in quanto risulta meno interferente con le aree naturali, subnaturali e seminaturali presenti.

Nella seguente tabella è riportata la quantificazione degli indicatori considerati per il criterio Paesaggio naturale e antropico.

Tabella 25 - Categoria "Sostenibilità ambientale" - Criterio "Paesaggio naturale ed antropico"

CRITERIO	INDICATORE				ALTERNATIVE			
Definizione	Definizione	Metodo di valutazione	Unità di misura	F.ni di normalizzaz.	Alternativa 3A	Alternativa 3B	Alternativa 3C	
2.3 PAESAGGIO NATURALE E ANTROPICO	2.3.1	ATTRAVERSAMENTO DI AREE CON VINCOLO PAESAGGISTICO Art. 142 del D. Lgs 42/2004 c) FASCIA DI RISPETTO FIUMI 150m	Sommatoria delle aree vincolate interferite dall'alternativa	m	min	7800	3455	3480
	2.3.2	CONSUMO DI AREE SEMINATURALI (PPR)	Sommatoria delle superfici di aree seminaturali di nuova occupazione interessate dall'impronta di progetto delle alternative	m ²	min	16800	21600	18400
	2.3.3	CONSUMO DI AREE NATURALI E SUBNATURALI (PPR)	Sommatoria delle superfici di aree naturali e subnaturali di nuova occupazione interessate dall'impronta di progetto delle alternative	m ²	min	2000	5600	2000

Emissioni inquinanti e climalteranti

Per il criterio "Emissioni inquinanti e climalteranti", al fine di effettuare una comparazione quanto più oggettiva ed efficace delle alternative, sono stati considerati i seguenti indicatori:

- 1. Probabilità di aumento del disturbo acustico rispetto allo stato attuale;**
- 2. Emissioni in tonnellate di CO₂_eq in fase di realizzazione dell'opera;**
- 3. Emissioni in tonnellate di CO₂_eq per anno di esercizio;**
- 4. Emissioni in tonnellate di particolato (PM10) per anno di esercizio.**

L'indicatore "**Probabilità di aumento del disturbo acustico rispetto allo stato attuale**" valuta in termini probabilistici quanto l'alternativa di tracciato possa comportare un aumento del disturbo acustico in considerazione di quanto il tracciato si avvicina o viceversa si allontana, rispetto allo stato attuale, dalle aree abitate o dai ricettori presenti. Le valutazioni effettuate evidenziano come l'alternativa B in variante risulti migliore in quanto si allontana maggiormente rispetto alle altre alternative dall'abitato di Siliqua.

Per l'indicatore "**Emissioni in tonnellate di CO₂_eq in fase di realizzazione dell'opera**" sono state fatte le seguenti valutazioni:

La stima parametrica delle emissioni GHG in fase di realizzazione dell'opera viene effettuata a partire da un'analisi storica ed una rielaborazione statistica delle emissioni calcolate nelle precedenti applicazioni della "Metodologia per la misura delle emissioni di gas serra", certificata da ente terzo in conformità alla norma UNI EN ISO 14064-1:2019, a progetti in fase di PFTE. Sulla base dell'estensione dei tratti per tipologia di opera d'arte e della lunghezza complessiva del tracciato di ciascuna alternativa progettuale, tale strumento di analisi permette di stimare⁸ i potenziali impatti in termini di emissione GHG correlati.

L'applicazione della stima parametrica dell'impronta climatica alle alternative progettuali individuate per "Siliqua" genera i risultati riportati nella seguente tabella, espressi per ciascuna soluzione in tonnellate di CO₂e:

Tabella 26 - Alternative con tCO₂e

Alternative progettuali	tCO ₂ e
Alternativa 3A	337.113
Alternativa 3C	367.943
Alternativa 3B	490.822

L'indicatore "**Emissioni in tonnellate di CO₂_eq per anno di esercizio**" ha lo scopo di stimare le emissioni climalteranti relative alla trazione Diesel del materiale rotabile, con riferimento alle

⁸ Con una variabilità del risultato pari a ±20%

diverse alternative, per farlo si è proceduto inizialmente ad individuare il valore previsto per gli scenari considerati in termini di numero treni giorno.

Considerando il tratto di linea interessata, è possibile individuare il n° di treni/gg e la tipologia di rotabile utilizzato sulla linea, dopodiché è stato dedotto il consumo specifico rapportandolo alla lunghezza della Linea.

Per il calcolo delle emissioni climalteranti espresse in termini di CO₂_{eq}, si è fatto uso dei dati dei fattori di emissione relativi alla CO₂, CH₄ e N₂O derivanti dal “EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019”, espressi in Kg e g per tonnellata di Diesel; successivamente, le emissioni dei gas inquinanti atmosferici CH₄ e N₂O sono state convertite in termini di CO₂ equivalente. Tale conversione è stata effettuata attraverso dei parametri standard di Global Warming Potential (GWP).

Nella seguente tabella viene riportato il confronto delle emissioni climalteranti, espresse in termini di tonnellate di CO₂ equivalente, relative alle diverse alternative.

Tabella 27 - Emissioni climalteranti relative alle soluzioni proposte

	Alternativa A [ton CO ₂ _{eq} /anno]	Alternativa B [ton CO ₂ _{eq} /anno]	Alternativa C [ton CO ₂ _{eq} /anno]
Regionale	2.305	2.505	2.505
Totale	2.305	2.505	2.505

Dal confronto dei risultati mostrati in tabella, si nota un valore maggiore di emissioni climalteranti per le alternative B e C che risultano coincidenti, tale effetto è dovuto principalmente, alla maggiore estensione che caratterizzano tali alternative.

Dall'analisi condotta risulta che la soluzione preferibile, sotto il profilo di emissioni climalteranti, è l'alternativa A.

Per l'indicatore "**Emissioni in tonnellate di particolato (PM10) per anno di esercizio**" lo scopo è quello di stimare le emissioni inquinanti derivanti dalla trazione Diesel del materiale rotabile, con riferimento alle diverse alternative. Si specifica che nell'analisi sono stati considerati diversi agenti inquinanti (quali ad esempio: NOx, NMVOC, PM2,5); si è scelto infine di riportare esclusivamente l'agente PM10 in quanto il più incisivo, viste le caratteristiche del progetto (vicinanza a centri abitati), e al fine di non generare ridondanza nell'AMC. Al fine di stimare tale indicatore si è proceduto inizialmente ad individuare il valore previsto per gli scenari considerati in termini di numero treni/giorno. Considerando il tratto di linea interessata, in tabella è possibile individuare il n° di treni/gg e la tipologia di rotabile utilizzato sulla linea. Quanto riportato in tabella è valido per entrambe le alternative.

Per il calcolo delle emissioni inquinanti relative al particolato, si è fatto uso dei dati e dei Coefficienti emissivi relativi all'inquinante PM10 forniti dal documento "EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019".

Nella seguente tabella viene riportato il confronto delle emissioni di particolato PM10 derivante dalla trazione Diesel, relative alle diverse alternative.

Tabella 28 - Emissioni di particolato PM10 relativi alle soluzioni proposte

	Alternativa A [ton PM10/anno]	Alternativa B [ton PM10/anno]	Alternativa C [ton PM10/anno]
Regionale	1,05	1,14	1,14
Totale	1,05	1,14	1,14

Dal confronto dei risultati mostrati in tabella, si nota un valore maggiore di emissioni inquinanti per le alternative B e C che risultano coincidenti, tale effetto è dovuto principalmente, alla maggiore estensione che caratterizzano tali alternative.

Dall'analisi condotta risulta che la soluzione preferibile, sotto il profilo di emissioni climalteranti, è l'alternativa A.

Tabella 29 - Categoria "Sostenibilità ambientale" - Criterio "Emissioni inquinanti e climalteranti"

CRITERIO		INDICATORE				ALTERNATIVE		
Definizione	Definizione	Metodo di valutazione	Unità di misura	F.ni di normalizzaz.	Alternativa 3A	Alternativa 3B	Alternativa 3C	
2.4 EMISSIONI INQUINANTI E CLIMALTERANTI	2.4.1	Probabilità di RIDUZIONE del disturbo acustico rispetto allo stato attuale	verso l'abitato	-	max	nullo (0)	Alto (1)	medio (0.5)
	2.4.2	Emissioni in tonnellate di CO2e in fase di realizzazione dell'opera	Emissioni in tonnellate di CO2e in fase di realizzazione dell'opera	[tCO2e]	max	337 113	490 822	367 943
	2.4.3	Emissioni in tonnellate di CO2_eq per anno di esercizio	Emissioni in tonnellate di CO2_eq derivanti dal consumo di gasolio per la trazione ferroviaria con riferimento ad un anno di esercizio	[tCO2eq/a]	max	2 305	2 505	2 505
	2.4.4	Emissioni in tonnellate di particolato (PM10) per anno di esercizio	Emissioni in tonnellate di particolato (PM10) derivanti dal consumo di gasolio per la trazione ferroviaria con riferimento ad un anno di esercizio	[t PM10/a]	max	1.05	1.14	1.14

Per quanto riguarda i Siti contaminati e potenzialmente contaminati, nell'ambito dello studio degli interventi di progetto, si è proceduto al riconoscimento di aree potenzialmente critiche dal punto di vista ambientale presenti nelle aree oggetto dei lavori, ovvero all'individuazione di siti contaminati e potenzialmente contaminati interferenti con le opere in progetto.

Siti di interesse nazionale (SIN)

Un sito di interesse nazionale (SIN) è un'area contaminata estesa, classificata come pericolosa e quindi da sottoporre ad interventi di bonifica per evitare danni ambientali e sanitari. Considerata l'ubicazione dell'area di intervento, nel presente documento la verifica dei SIN è stata effettuata sul territorio regionale sardo, dove sono stati individuati in totale 2 siti di interesse nazionale e n. 1 sito di interesse Regionale:

- Porto Torres (L. 179/2002);
- Sulcis Iglesiente Guspinese (D.M. 304/2016);

- La Maddalena (ex SIN)



● Siti di interesse nazionale rimasti di competenza Ministero Ambiente

24 Sulcis D.M. 304/2016

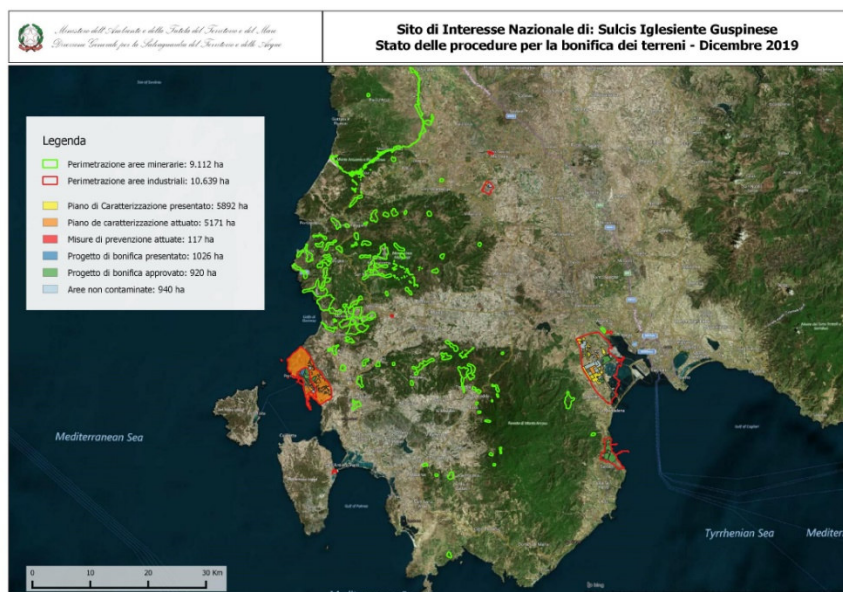
36 Porto Torres L. 179/2002

● Siti di interesse nazionale divenuti di competenza regionale

58 La Maddalena

Figura 21 - Localizzazione dei SIN e dei SIR nella regione Sardegna (Fonte: Ministero della Transizione Ecologica ex-Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare Siti di Interesse Nazionale - Stato delle procedure per la bonifica – Febbraio 2020 (fonte: Ministero della Transizione Ecologica – Direzione Generale per il Risanamento Ambientale)

Di seguito si rappresenta lo stato di avanzamento dei SIN sopra citati per il progetto in questione:



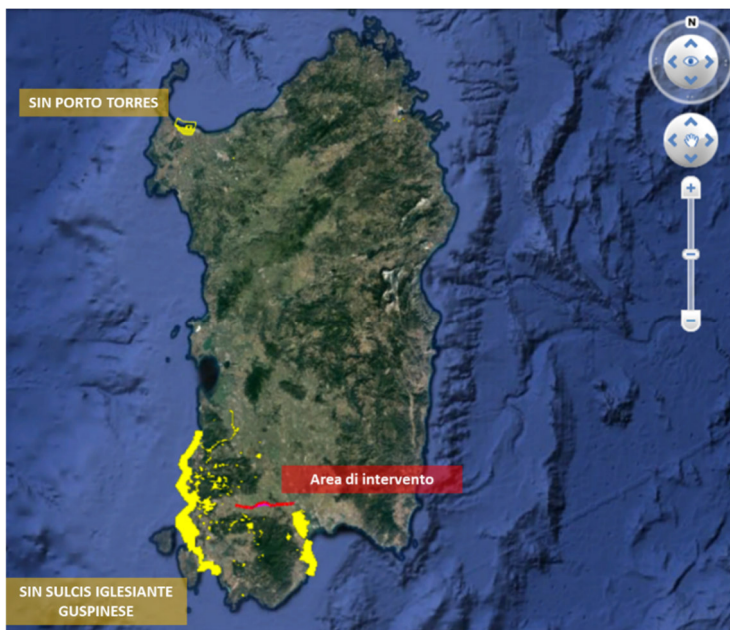


Figura 22 - Localizzazione dell'area di intervento rispetto i SIN (Fonte: Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare)

La ricognizione effettuata ha evidenziato che i suddetti SIN sono a distanza ragionevole delle aree interessate dalle opere in oggetto.

Siti contaminati e potenzialmente contaminati

Il piano regionale di bonifica dei siti inquinati della Sardegna è lo strumento di programmazione e pianificazione, attraverso cui la Regione, coerentemente con le normative nazionali e con le problematiche specifiche territoriali, mira alla riduzione e alla risoluzione, in assoluto, delle problematiche ambientali connesse con la presenza di siti contaminati dettando strumenti di gestione del territorio che operino in questa direzione sia dal punto di vista burocratico-amministrativo, sia dal punto di vista tecnico sia da quello operativo.

In relazione alla presenza di tali siti si riportano di seguito i più prossimi alle aree di intervento.

- Siti Industriali (in blu in figura);
- Aree minerarie dismesse (in bianco in figura);
- Discariche RSU dismesse (in celeste in figura);

- Distributore di carburanti (in giallo in figura);
- Altri siti (in rosa - Sito oggetto di evento incidentale; in verde - Sito generico).

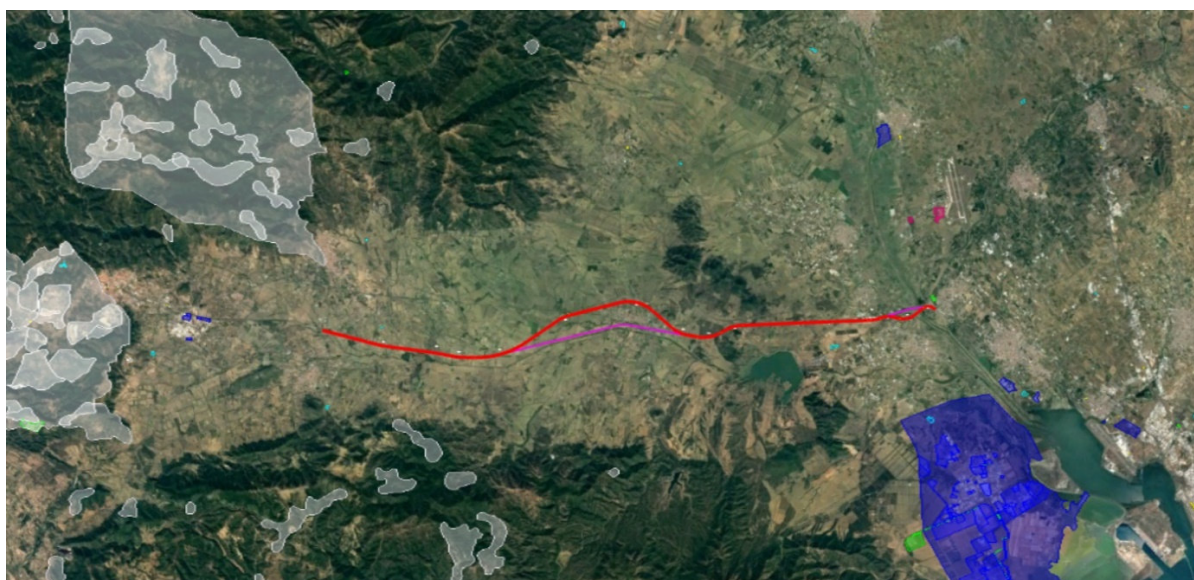


Figura 23 - Tracciati di intervento (rosso e magenta) ed i siti contaminati (bianco, blu, celeste, blu, verde e rosa)

Dalla consultazione della anagrafica è emerso che alcuni interventi puntuali in progetto interessano siti contaminati che ricadono nelle buffer di 500 m delle aree di intervento senza alcuna interferenza.

Motivo per cui si è optato per non inserire un indicatore, in quanto in nessuna alternativa ricade un'area con delle interferenze.

Di seguito una serie di tabelle e figure riepilogative delle informazioni riguardanti la ricognizione dei siti contaminati limitrofi alle aree di intervento.

	RADDOPPIO DECIMOMANNU VILLAMASSARGIA					
	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
ANALISI MULTICRITERIA	COMMESSA RR0P	LOTTO 00	CODIFICA F 16 RG	DOCUMENTO EF 00 05 001	REV. B	FOGLIO 73 di 88

5.3.3 Categoria: EFFICACIA TRASPORTISTICA

Per la categoria “*efficacia trasportistica*” è stato valutato il solo criterio “esercizio ferroviario” in quanto le alternative non presentano differenze dal punto di vista strettamente trasportistico.

Di seguito è riportata una descrizione dei due criteri sopracitati e degli indicatori utilizzati per la misurazione degli stessi, con l’evidenza delle stime quantitative ottenute.

Per il criterio “*Esercizio ferroviario*”, al fine di effettuare una comparazione quanto più oggettiva ed efficace delle alternative, sono stati analizzati tutti i possibili elementi caratterizzanti dal punto di vista funzionale e dell’esercizio. Di conseguenza sono stati individuati i seguenti indicatori:

1. Tempi di percorrenza servizio passeggeri;
2. Interferenze potenziali con l’esercizio della rete storica.

L’indicatore di performance “**Tempi di percorrenza servizio passeggeri**” è stato stimato applicando alle varie soluzioni di tracciato, la velocità media commerciale (comprensiva dei margini di regolarità), valutata mediante simulazioni in tratte significative, di un servizio eseguito con ATR 365. Nel dettaglio, è stato definito come la differenza tra il tempo di percorrenza attuale e quello di progetto relativamente ad un servizio passeggeri veloce per le relazioni significative.

Tale indicatore non è stato inserito nell’analisi, sebbene valutato e studiato, in quanto i tempi di percorrenza delle diverse alternative risulta pressoché uguale, risultano quindi invariante ai fini dell’Analisi Multicriteria.

L’indicatore “**Consumi energetici**” misurato con i litri di gasolio utilizzato per percorrere il tratto oggetto di intervento, non è stato inserito nell’analisi, sebbene valutato e studiato, in quanto i valori delle diverse alternative risulta pressoché uguale, risultano quindi invariante ai fini dell’Analisi Multicriteria.

Alla luce di quanto detto sopra la categoria “Efficacia trasportistica” si considera non influente nella scelta dell’alternativa giustificata per l’analisi multicriteria tratta 3 Siliqua.

	RADDOPPIO DECIMOMANNU VILLAMASSARGIA					
	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
ANALISI MULTICRITERIA	COMMESSA RR0P	LOTTO 00	CODIFICA F 16 RG	DOCUMENTO EF 00 05 001	REV. B	FOGLIO 74 di 88

5.3.4 Categoria: REALIZZAZIONE ED ECONOMIA DEL PROGETTO

Per il criterio “Costruzione”, al fine di effettuare una comparazione quanto più oggettiva ed efficace delle alternative, sono stati scelti i seguenti indicatori:

1. Costi di realizzazione.
2. Tempi di realizzazione.

L'indicatore “**costo di realizzazione**” è stato misurato come valore opere, è stato stimato in considerazione del livello progettuale delle alternative 3A, 3B, 3C per la tratta Decimomannu – Villaspeciosa e sviluppato con metodologia parametrica. L' alternativa 3B risulta più onerosa a causa del suo sviluppo in completa variante, da realizzare con un tratto in viadotto di circa 4 km, rispetto alle altre due alternative studiate.

L'indicatore “**tempi di realizzazione**” indica una stima temporale della durata totale dei lavori relativamente ad ogni singola soluzione progettuale analizzata, comprensiva delle attività propedeutiche iniziali fino alla disponibilità per le verifiche tecniche (CVT ed ANSF).

Per le alternative individuate, la stima temporale comprende le attività propedeutiche iniziali e le attività di costruzione delle opere civili. La stima non tiene conto del tempo necessario per i collaudi e le verifiche tecniche (CVT – ANSF).

Allo stato attuale, l'analisi è stata effettuata su dati progettuali il cui dettaglio non ha consentito di individuare una sostanziale differenza in termini di “tempi di realizzazione” tra le alternative proposte. A tal proposito la durata complessiva delle attività di costruzione per le tre alternative (3A, 3B e 3C), può considerarsi confrontabile e di circa pari a 3,5 anni e quindi ininfluente ai fini dell'individuazione dell'alternativa giustificata.

Nella seguente tabella è riportata la quantificazione degli indicatori considerati per il criterio Costruzione.

Tabella 30 - Categoria "Realizzazione ed Economia del progetto" – Criterio Costruzione

CRITERIO	INDICATORE					ALTERNATIVE		
	Definizione	Definizione	Metodo di valutazione	Unità di misura	F.ni di normalizzaz.	Alternativa 3A	Alternativa 3B	Alternativa 3C
4.1 COSTRUZIONE	4.1.1	COSTI DI REALIZZAZIONE	Stima del costo delle alternative progettuali	MI€	min	261.1	352.9	266

5.4 Assegnazione dei pesi e matrice di valutazione

L'analisi è stata condotta ipotizzando tre livelli di pesi associati rispettivamente alle categorie, agli indicatori e ai criteri.

Per la determinazione dei pesi relativi alle **categorie** è stata utilizzata la metodologia AHP (*Analytical Hierarchy process*) che è un modello decisionale multicriterio utilizzato per l'assegnazione dei pesi delle categorie.

Si rimanda la descrizione dei dettagli della metodologia nel paragrafo 4.4.

Si riportano di seguito la matrice dei confronti a coppie e la stima dei pesi per ciascuna categoria analizzata.

Tabella 31 - Matrice dei confronti a coppie

	Complessità infrastrutturale	SOSTENIBILITA' AMBIENTALE	REALIZZAZIONE E ECONOMIA DEL PROGETTO
Complessità infrastrutturale	1	0.33	2.5
SOSTENIBILITA' AMBIENTALE	3	1	4.5
REALIZZAZIONE E ECONOMIA DEL PROGETTO	0.4	0.22	1
Sum	4.40	1.56	8.00

Tabella 32 - Stima del peso per ciascuna categoria analizzata

	Complessità infrastrutturale	SOSTENIBILITA' AMBIENTALE	REALIZZAZIONE E ECONOMIA DEL PROGETTO	Pesi
Complessità infrastrutturale	0.227	0.214	0.313	25%
SOSTENIBILITA' AMBIENTALE	0.682	0.643	0.563	63%
REALIZZAZIONE E ECONOMIA DEL PROGETTO	0.091	0.143	0.125	12%

	RADDOPPIO DECIMOMANNU VILLAMASSARGIA					
	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
ANALISI MULTICRITERIA	COMMESSA RR0P	LOTTO 00	CODIFICA F 16 RG	DOCUMENTO EF 00 05 001	REV. B	FOGLIO 77 di 88

L'Analisi ha dato come risultati i seguenti pesi per le categorie:

- ✓ Complessità infrastrutturale = 25%
- ✓ Sostenibilità ambientale = 63%
- ✓ Realizzazione ed economia del progetto = 12%

La determinazione dei pesi relativi a **criteri e indicatori** è stata ipotizzata sulla base del buon senso e dell'esperienza da parte degli analisti/progettisti coinvolti, con il fine di individuare la ripartizione che desse la giusta importanza sia agli aspetti tecnici, ma anche agli impatti (sia con carattere transitorio che definitivo) che un progetto di tale tipo può generare sulla collettività e sui trasporti.

All'interno delle categorie, i pesi sono distribuiti sia per i criteri che per gli indicatori con il dettaglio mostrato nelle Tabelle precedenti. In generale, con il fine di effettuare una comparazione quanto più oggettiva ed efficace delle alternative, è stato attribuito un peso equo per ciascun criterio e per ciascun indicatore.


 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO	RADDOPPIO DECIMOMANNU VILLAMASSARGIA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	ANALISI MULTICRITERIA	COMMESSA RR0P	LOTTO 00	CODIFICA F 16 RG	DOCUMENTO EF 00 05 001	REV. B

Tabella 33 - Vettore dei pesi attribuiti e matrice di valutazione - Analisi Multicriteria Siliqua 1/2

Indicatori AMC Siliqua													
CATEGORIA		CRITERIO		INDICATORE							ALTERNATIVE		
Definizione	Peso	Definizione	Peso	Definizione	Metodo di valutazione	Unità di misura	Peso	Peso sul totale	F.ni di normalizzaz.	Alternativa 3A	Alternativa 3B	Alternativa 3C	
1 - Complessità infrastrutturale	25%	1.1 Tipologia di opera infrastrutturale prevista nell'intervento	50%	1.1.1	TRATTO IN VARIANTE rispetto ad un tracciato esistente (ferrovia-autostrada)	Estensione dei tratti su nuovo sedime	m	25.0%	2.5%	min	0	11900	9500
				1.1.2	RILEVATO/TRINCEA	Estensione tratti in rilevato	m	25.0%	2.5%	min	9970	7800	10540
				1.1.3	VIADOTTO/SCATOLARE	Estensione tratti per tipologia di opere d'arte	m	25.0%	2.5%	min	1230	4100	1460
				1.1.4	Pendenza della livelletta	Massima pendenza della livelletta ferroviaria	%	25.0%	2.5%	min	0.9	1.2	1.3
		1.2 Caratteristiche opera nel contesto territoriale	50%	1.2.1	Interventi sulle viabilità interferite	Numero di interventi risolti/interventi tot	%	20%	3.0%	min	78	30	27
				1.2.2	Risoluzione interferenze con viabilità (Cavalcaferrovia-sottovia)	Numero Cavalcaferrovia e sottovia	cad	20%	3.0%	min	4	3	3
				1.2.3	Varianti stradali	Numero varianti stradali necessarie	cad	20%	3.0%	min	3	1	1
				1.2.4	COMPLESSITA' FASI REALIZZAZIONE OPERE D'ARTE	Complessità medio-bassa (M-B)/elevata(E) per la realizzazione delle opere d'arte (specialmente in stretto affiancamento alla linea esistente, in presenza di esercizio e/o di fasizzazione)	qualitativo (-)	20%	3.0%	min	E	M-B	M-B
				1.2.5	Ubicazione Stazione Siliqua rispetto viabilità di accesso	distanza rispetto SS130 e SP90	m	20%	3.0%	min	2500.00	4000.00	4000.00


	RADDOPPIO DECIMOMANNU VILLAMASSARGIA					
	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
ANALISI MULTICRITERIA	COMMESSA RR0P	LOTTO 00	CODIFICA F 16 RG	DOCUMENTO EF 00 05 001	REV. B	FOGLIO 79 di 88

Tabella 34 - Vettore dei pesi attribuiti e matrice di valutazione-Siliqua 2/2

CATEGORIA		CRITERIO		INDICATORE						ALTERNATIVE					
Definizione	Peso	Definizione	Peso	Definizione	Metodo di valutazione	Unità di misura	Peso	Peso sul totale	F.ni di normalizzaz.	Alternativa 3A	Alternativa 3B	Alternativa 3C			
2. SOSTENIBILITA' AMBIENTALE	63%	2.1 SUOLO	15%	2.1.1	CONSUMO DI NUOVO TERRITORIO	Sommatoria delle superfici di nuova occupazione interessate dall'impronta di progetto delle alternative	m ²	33.3%	3.2%	min	211500	394500	443500		
				2.1.2	CONSUMO DI SUOLO EXTRAURBANO	Sommatoria delle superfici extraurbane occupate dall'impronta di progetto delle alternative	m ²	33.3%	3.2%	min	207200	394500	443500		
				2.1.3	Consumo di suolo pro capite	consumo di suolo in m2 previsto dalle opere rapportato al numero di abitanti residenti nel comune di Augusta	m ² /Abitante	33.3%	3.2%	min	56.98	106.28	119.48		
		2.2 SOTTOSUOLO: GEOMORFOLOGIA, IDROGEOLOGIA E IDRAULICA	30%	2.2.1	INTERFERENZA CON AREA A RISCHIO IDRAULICO	Sommatoria dei tratti (lunghezza) interferenti con le aree a rischio/pericolosità P2 (Tr = 200 anni) da pianificazione di bacino (P.G.R.A.)	m	50.0%	9.5%	min	7730	1415	1670		
				2.2.2	INTERFERENZA CON RETICOLO IDROGRAFICO	Numero intersezioni con il reticolo idrografico	N	25.0%	4.7%	min	7	22	23		
				2.2.3	VOLUMI DI SCAVO	volumi di terre e rocce prodotte dalla realizzazione delle opere ferroviarie e stradali	m ³	25.0%	4.7%	min	259000	355000	300000		
		2.3 PAESAGGIO NATURALE E ANTROPICO	25%	2.3.1	ATTRAVERSAMENTO DI AREE CON VINCOLO PAESAGGISTICO Art. 142 del D. Lgs 42/2004 c) FASCIA DI RISPETTO FIUMI 150m	Sommatoria delle aree vincolate interferite dall'alternativa	m	33.3%	5.3%	min	7800	3455	3480		
				2.3.2	CONSUMO DI AREE SEMINATURALI (PPR)	Sommatoria delle superfici di aree seminaturali di nuova occupazione interessate dall'impronta di progetto delle alternative	m ²	33.3%	5.3%	min	16800	21600	18400		
				2.3.3	CONSUMO DI AREE NATURALI E SUBNATURALI (PPR)	Sommatoria delle superfici di aree naturali e subnaturali di nuova occupazione interessate dall'impronta di progetto delle alternative	m ²	33.3%	5.3%	min	2000	5600	2000		
		2.4 EMISSIONI INQUINANTI E CLIMALTERANTI	30%	2.4.1	Probabilità di RIDUZIONE del disturbo acustico rispetto allo stato attuale	verso l'abitato	-	25.0%	4.7%	max	nullo (0)	Alto (1)	medio (0.5)		
				2.4.2	Emissioni in tonnellate di CO2e in fase di realizzazione dell'opera	Emissioni in tonnellate di CO2e in fase di realizzazione dell'opera	[tCO2e]	25.0%	4.7%	max	337113	490822	367943		
				2.4.3	Emissioni in tonnellate di CO2_eq per anno di esercizio	Emissioni in tonnellate di CO2_eq derivanti dal consumo di gasolio per la trazione ferroviaria con riferimento ad un anno di esercizio	[tCO2eq/a]	25.0%	4.7%	max	2305	2505	2505		
				2.4.4	Emissioni in tonnellate di particolato (PM10) per anno di esercizio	Emissioni in tonnellate di particolato (PM10) derivanti dal consumo di gasolio per la trazione ferroviaria con riferimento ad un anno di esercizio	[t PM10/a]	25.0%	4.7%	max	1.05	1.14	1.14		
		3. REALIZZAZIONE E ECONOMIA DEL PROGETTO	12%	3.1 COSTRUZIONE	100%	4.1.1	COSTI DI REALIZZAZIONE	Stima dei costi di realizzazione delle alternative	Mi€	100.0%	12.0%	min	261.1	352.9	266

5.5 Risultati Analisi Multicriteria

Nella seguente paragrafo si riportano i risultati dell'analisi multicriteria per la tratta 3 Siliqua, sviluppata per individuare l'alternativa giustificata tra l'alternativa 3A (in affiancamento alla linea storica) ,3B (in variante rispetto alla linea storica, a monte dell'abitato di Siliqua) e 3C (soluzione intermedia rispetto le precedenti).

I risultati mostrano come l'alternativa 3C con un punteggio complessivo di 55.45/100, risulti giustificabile rispetto alle altre soluzioni progettuali. In particolare, questa alternativa presenta risultati comparabili alle altre due alternative, ma offre una migliore risposta complessiva agli indicatori di Sostenibilità Ambientale e Realizzazione ed Economia del Progetto rispetto all'Alternativa 3B e agli indicatori di Complessità infrastrutturale rispetto all'Alternativa 3A. Nei grafici seguenti si riporta il dettaglio dei risultati ottenuti.

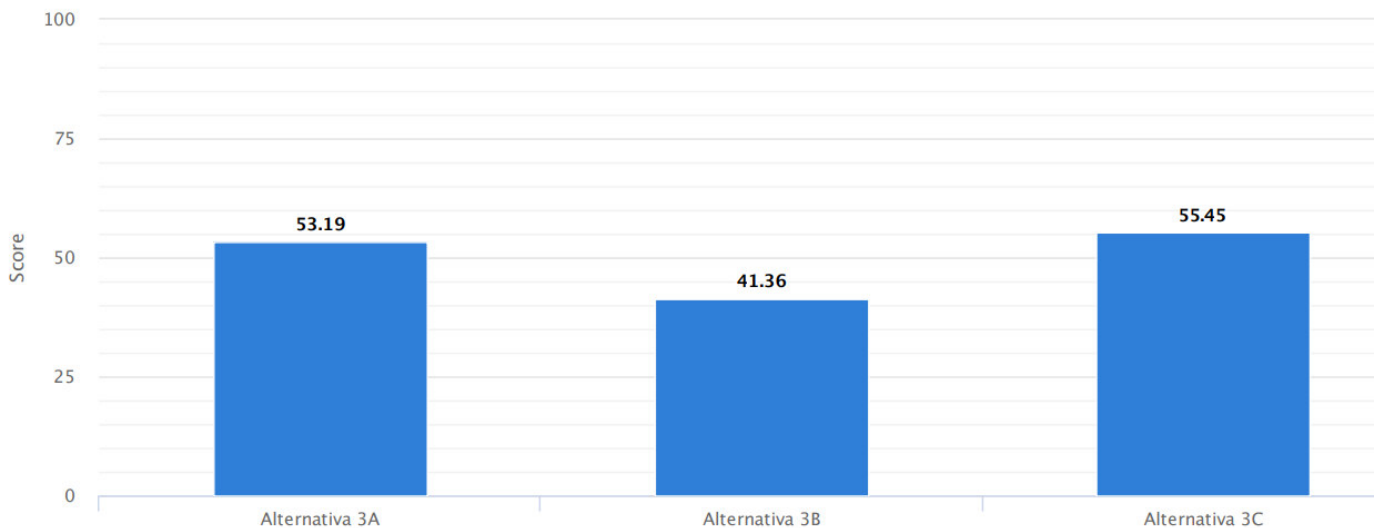


Figura 24 - Ranking finale con le varie alternative progettuali

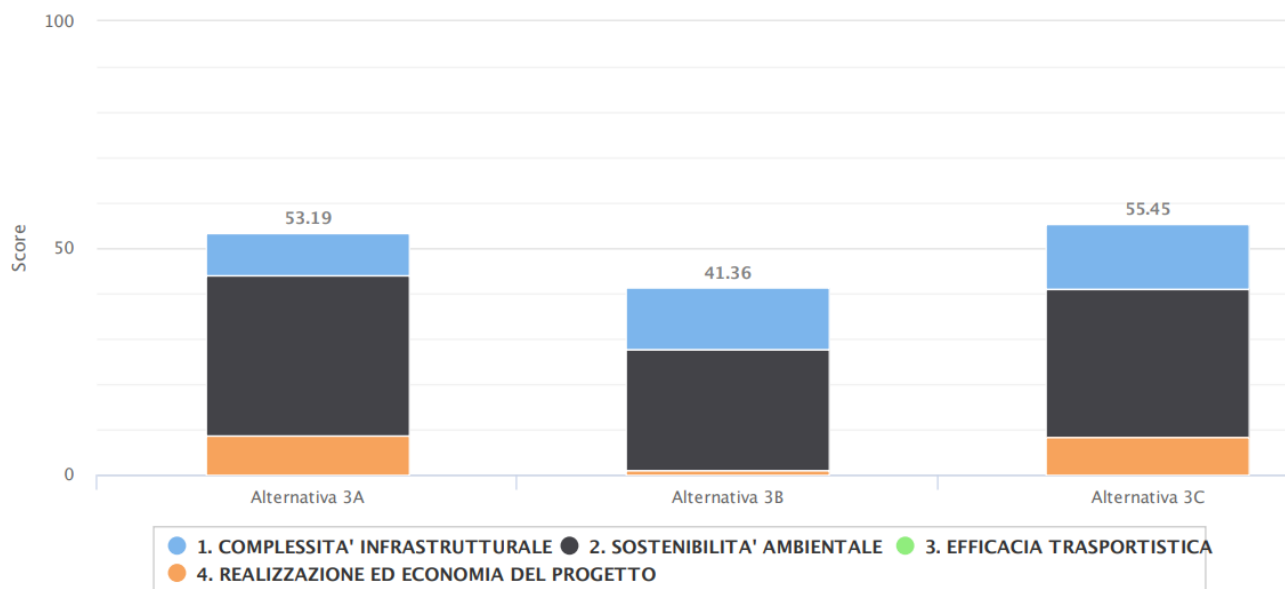


Figura 25 - Ranking finale con ripartizione delle quote di contributo al risultato di ciascuna categoria

La seguente tabella riporta il dettaglio dei punteggi ottenuti dalle due alternative nelle singole categorie analizzate.

Tabella 35 - Dettaglio delle quote di contributo al risultato di ciascuna categoria

CATEGORIE	3A	3B	3C
<i>Complessità infrastrutturale</i>	9.31	13.75	14.44
<i>Sostenibilità ambientale</i>	35.25	28.48	32.77
<i>Realizzazione ed economia del progetto</i>	8.63	1.13	8.23
<i>Punteggio complessivo</i>	53.19	41.36	55.45

Nel seguente grafico si riporta la ripartizione delle quote di contributo al risultato di ciascun criterio.

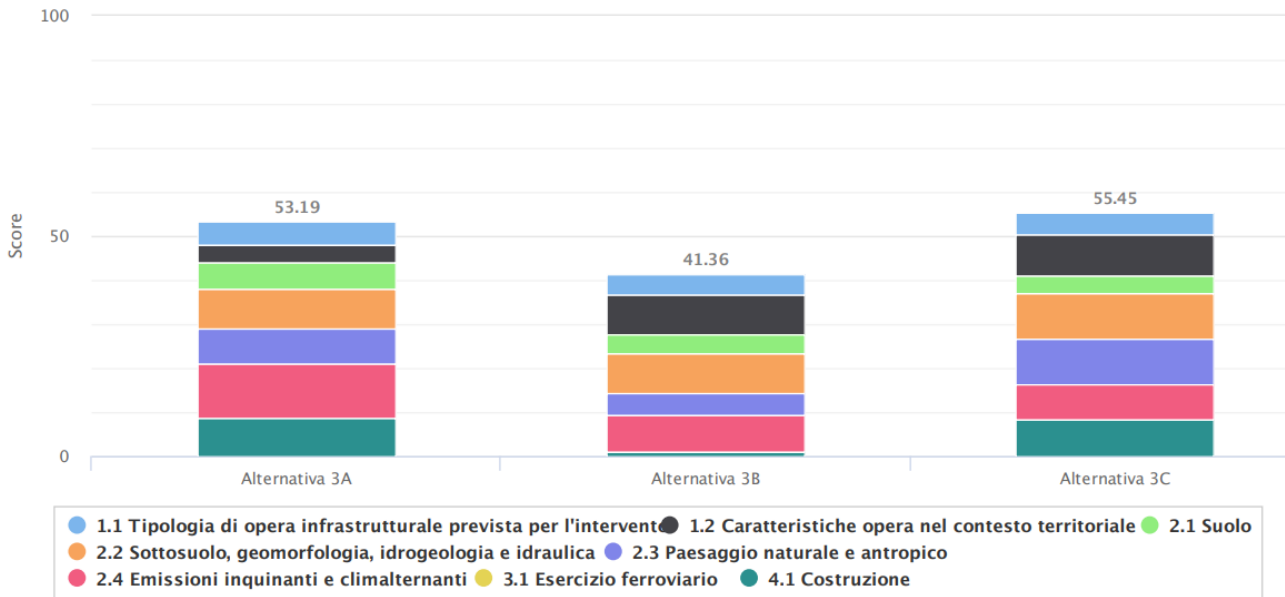


Figura 26 - Ranking finale con ripartizione delle quote di contributo al risultato di ciascun criterio

Nel seguente grafico si riporta la ripartizione delle quote di contributo al risultato di ciascun indicatore.

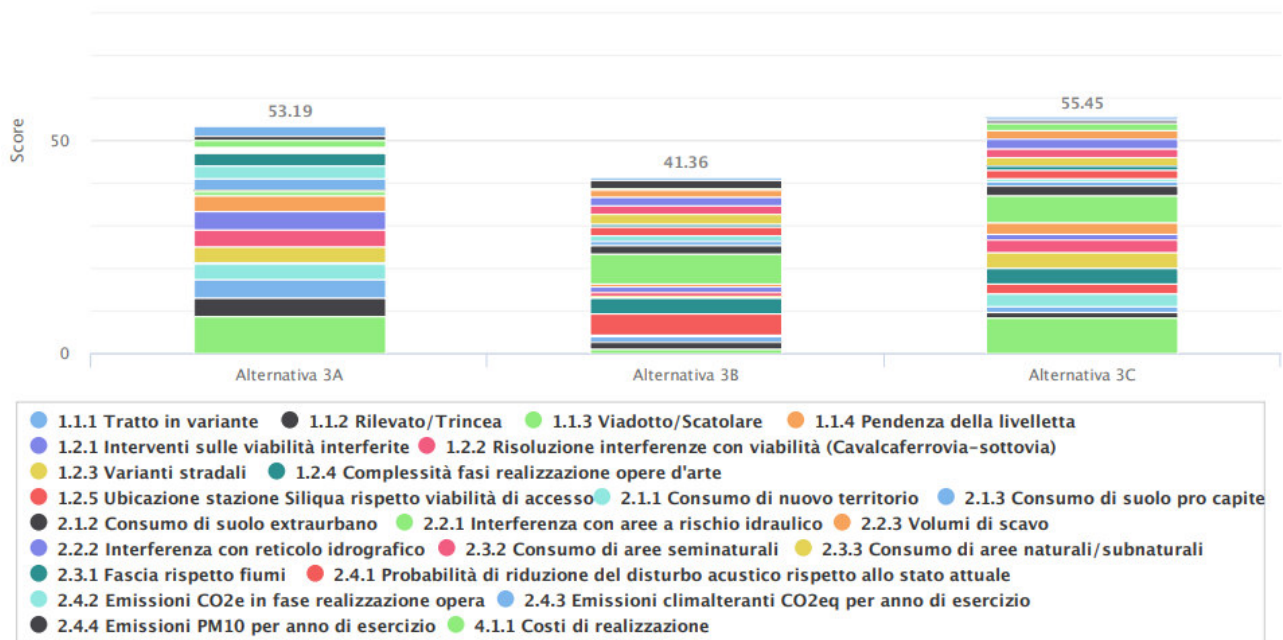


Figura 27 - Ranking finale con ripartizione delle quote di contributo al risultato di ciascun indicatore

5.6 Analisi di sensitività

L'analisi di sensitività mira a studiare la variazione della soluzione “giustificata” alla variazione degli elementi che compaiono nella valutazione e / o nella loro struttura (composizione e pesi associati). In particolare, l'obiettivo è determinare un intervallo di variazione (intervallo di stabilità) all'interno del quale la soluzione ottimale non cambia.

Si rimanda la descrizione dei dettagli della metodologia nel paragrafo 4.6.

Il seguente grafico rappresenta precisamente gli intervalli ammissibili entro i quali i pesi delle categorie identificate possono cambiare senza cambiare la classifica finale. Infatti, gli intervalli individuati dall'analisi di sensitività (rappresentati nelle figure seguenti e distinti per categorie e per criteri) mostrano il range entro cui possono variare i pesi attribuibili affinché la soluzione 3C continui ad essere quella “giustificata”.

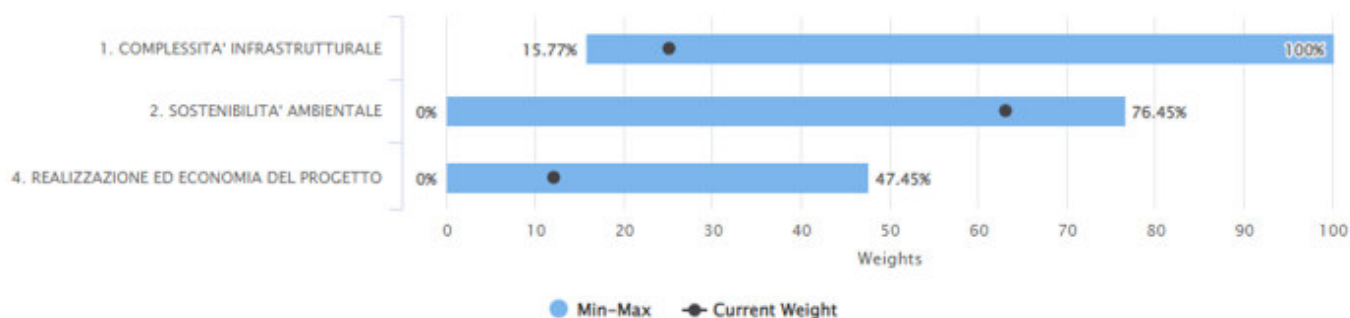


Figura 28 - Analisi di sensitività

Con il fine di fornire uno strumento di supporto alle decisioni e una completezza di informazioni sulle analisi svolte, si riportano i grafici che illustrano la classificazione delle soluzioni alternative al variare dei pesi assegnati a ciascuna categoria.

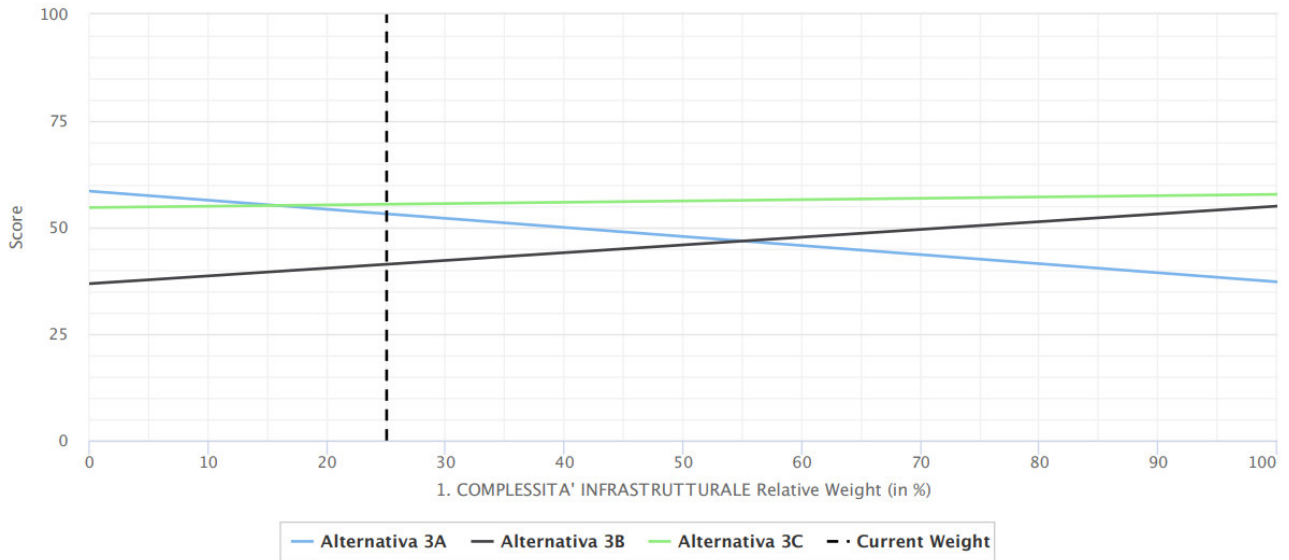


Figura 29 - Ranking soluzioni progettuali in funzione del peso assegnato alla categoria "Complessità Infrastrutturale"

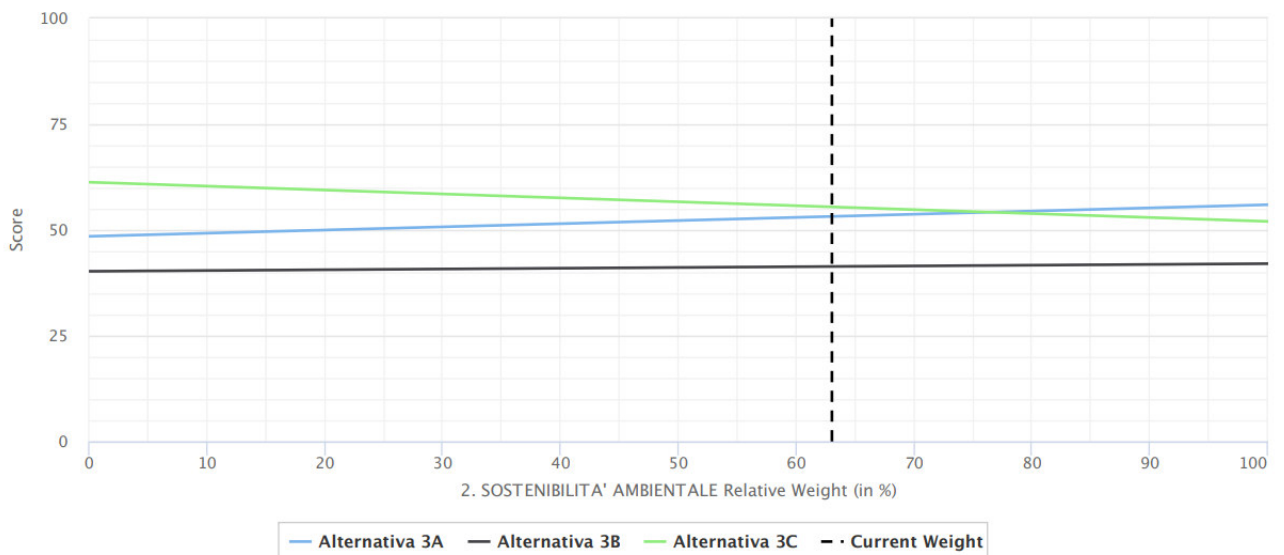


Figura 30 - Ranking soluzioni progettuali in funzione del peso assegnato alla categoria "Sostenibilità ambientale"

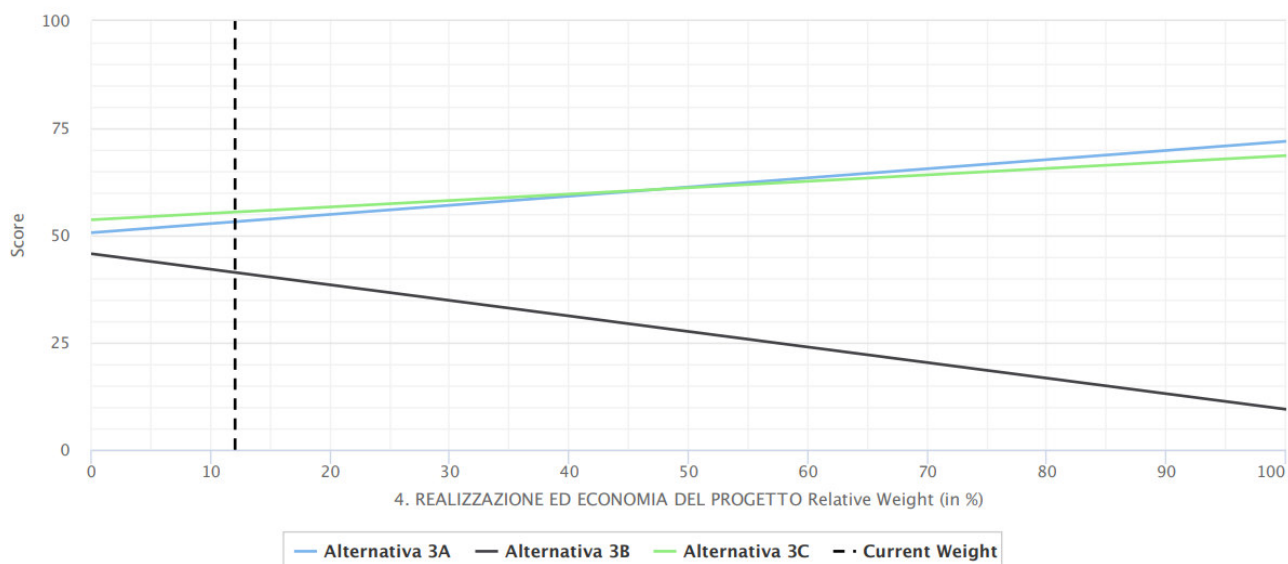


Figura 31 - Ranking soluzioni progettuali in funzione del peso assegnato alla categoria "Realizzazione e Economia del progetto"

Per quanto riguarda l'analisi di stabilità dei risultati dell'alternativa C si può affermare che per tutte le categorie la robustezza dell'alternativa (3C) risulta essere estremamente accettabile in quanto si conferma essere la giustificata all'interno dell'intero campo di variabilità di ciascuna di esse

	RADDOPPIO DECIMOMANNU VILLAMASSARGIA					
	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
ANALISI MULTICRITERIA	COMMESSA RR0P	LOTTO 00	CODIFICA F 16 RG	DOCUMENTO EF 00 05 001	REV. B	FOGLIO 86 di 88

6 CONCLUSIONI

L'Analisi Multicriteria, oggetto del presente documento, rappresenta lo strumento di supporto per valutare fra diverse alternative, quella che meglio si adatta agli obiettivi predefiniti, ricercando la soluzione "giustificata" ossia quella che, nel confronto basato su una molteplicità di criteri, risulta più volte vincente rispetto alle altre alternative. Una rispondenza quindi al concetto di sostenibilità a 360°, ovvero di sostenibilità ambientale, sociale, tecnica, finanziaria.

Scopo del presente documento è quello di illustrare:

3. L' Analisi Multicriteria "Decimomannu": sviluppata per l'individuazione della migliore soluzione progettuale tra le due alternative di progetto inerente al raddoppio della Linea analizzate per la tratta T1: una in stretto affiancamento alla Linea storica attualmente in esercizio (Alternativa 1A) e una in variante rispetto alla LS (Alternativa 1B);
4. L' Analisi Multicriteria "Siliqua": sviluppata per l'individuazione della migliore soluzione progettuale tra le tre alternative di progetto inerente al raddoppio della Linea analizzate per la tratta T3: una in stretto affiancamento alla Linea storica attualmente in esercizio (Alternativa 3A) e le altre due in variante rispetto alla LS (Alternative 3B e 3C).

I risultati dell'Analisi Multicriteria "Decimomannu" mostrano come l'alternativa B risulti preferibile rispetto all'altra soluzione progettuale, con un punteggio complessivo di **53.29/100. In particolare, questa alternativa presenta i migliori risultati rispetto alle categorie "*Sostenibilità Ambientale*" e "*Realizzazione ed Economia del progetto*".**

Nel grafico seguente si riporta il dettaglio dei risultati ottenuti.

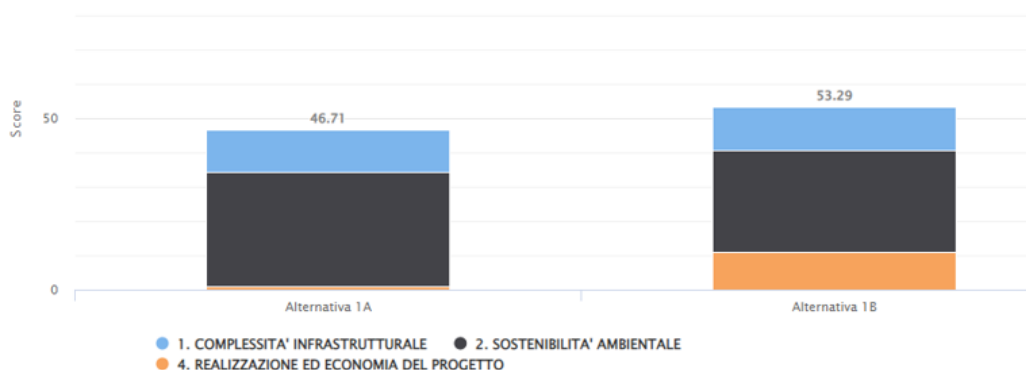


Figura 32 – Ranking finale con ripartizione delle quote di contributo al risultato di ciascuna categoria per l'Analisi Muticriteria "Decimomannu"

I risultati dell'Analisi Multicriteria "Siliqua" mostrano l'alternativa 3C, con un punteggio complessivo di 55.45/100, come preferibile rispetto alle altre soluzioni progettuali. In particolare, questa alternativa presenta risultati comparabili alle altre due alternative, ma offre una migliore risposta complessiva agli indicatori di Sostenibilità Ambientale e Realizzazione ed Economia del Progetto rispetto all'Alternativa 3B e agli indicatori di Complessità infrastrutturale rispetto all'Alternativa 3A.

Nel grafico seguente si riporta il dettaglio dei risultati ottenuti.

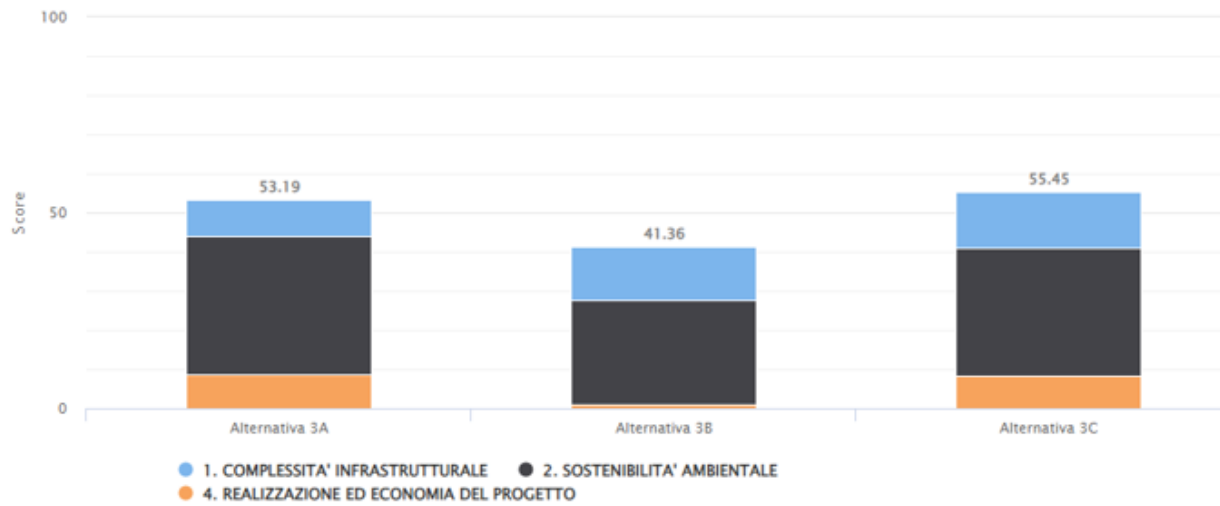


Figura 33 - Ranking finale con ripartizione delle quote di contributo al risultato di ciascuna categoria per l'Analisi Muticriteria "Siliqua"