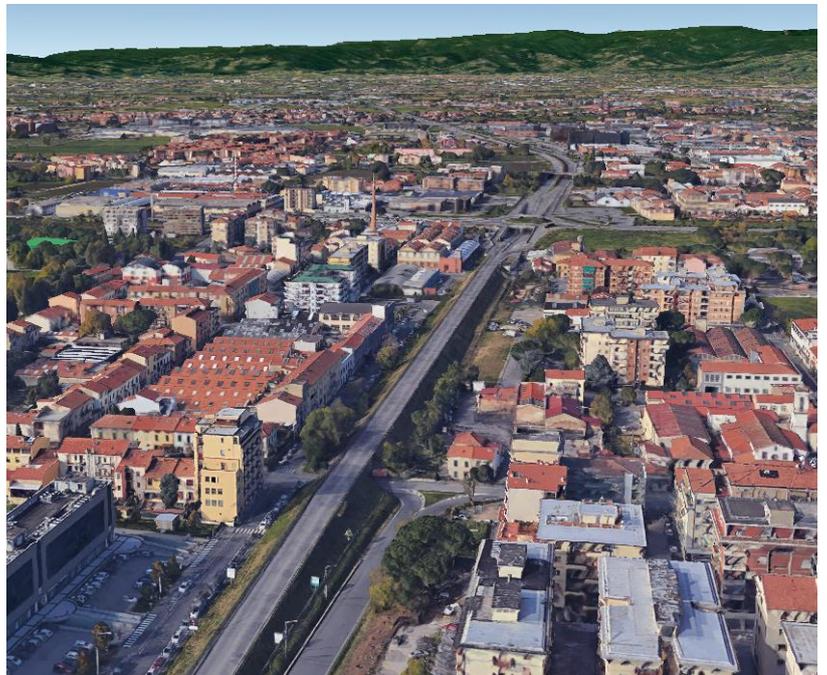




**Progetto del raddoppio di viale Leonardo da Vinci  
nel tratto compreso tra via Marx e via Nenni  
mediante la realizzazione di un sottopasso**



**Studio Preliminare Ambientale**  
Allegato I – Analisi delle alternative

## Indice

|         |  |    |
|---------|--|----|
| 1       | Premessa.....  | 4  |
| 2       | Scelta delle alternative.....  | 5  |
| 2.1     | Descrizione delle alternative: dalla Soluzione I alla Soluzione VII..... | 5  |
| 2.2     | La metodologia.....  | 7  |
| 2.2.1   | Generalità.....  | 7  |
| 2.2.2   | Il modello M.A.S.S.A.....  | 8  |
| 2.2.3   | Applicazione e taratura.....   | 10 |
| 2.3     | Definizione degli indicatori.....  | 15 |
| 2.3.1   | Indicatori Economici.....  | 15 |
| 2.3.1.1 | Costi di Costruzione e manutenzione [E1].....                            | 15 |
| 2.3.2   | Indicatori Sociali.....  | 19 |
| 2.3.2.1 | Modifica della circolazione in fase di cantierizzazione [S1].....        | 19 |
| 2.3.2.2 | Consumi di Carburante [S2].....  | 22 |
| 2.3.2.3 | Presenza di barriere infrastrutturali [S3].....                          | 23 |
| 2.3.2.4 | Creazione di aree del connettivo urbano[S4].....                         | 25 |
| 2.3.2.5 | Interferenza con i sottoservizi [S5].....                                | 28 |
| 2.3.3   | Indicatori Ambientali.....   | 30 |
| 2.3.3.1 | Produzione di CO <sub>2</sub> [A1].....                                  | 30 |
| 2.3.3.2 | Approvvigionamento di materiali pregiati [A2].....                       | 32 |
| 2.3.3.3 | Conferimento di materiale a discarica [A3].....                          | 33 |
| 2.3.3.4 | Presenza di elementi infrastrutturali in elevazione [A4].....            | 34 |
| 2.3.3.5 | Compromissione della risorsa idrica [A5].....                            | 36 |
| 2.3.3.6 | Inquinamento acustico [A6].....  | 38 |
| 2.3.3.7 | Emissioni in Aria [A7].....  | 40 |
| 2.4     | Calcolo dei costi degli indicatori.....                                  | 42 |
| 2.4.1   | Costi Economici.....   | 42 |
| 2.4.2   | Costi Sociali.....   | 42 |
| 2.4.2.1 | Modifica della circolazione in fase di cantierizzazione [S1].....        | 42 |
| 2.4.2.2 | Consumi di Carburante [S2].....  | 44 |
| 2.4.2.3 | Presenza di barriere infrastrutturali [S3].....                          | 46 |
| 2.4.2.4 | Creazione di aree del connettivo urbano [S4].....                        | 49 |
| 2.4.2.5 | Interferenza con i sottoservizi [S5].....                                | 51 |
| 2.4.3   | Costi Ambientali.....  | 53 |
| 2.4.3.1 | Produzione di CO <sub>2</sub> [A1].....                                  | 53 |
| 2.4.3.2 | Approvvigionamento di materiali pregiati [A2].....                       | 55 |
| 2.4.3.3 | Conferimento di materiale a discarica [A3].....                          | 58 |
| 2.4.3.4 | Presenza di elementi infrastrutturali in elevazione [A4].....            | 60 |

|         |  |    |
|---------|--|----|
| 2.4.3.5 | Compromissione della risorsa idrica [A5] ..... | 64 |
| 2.4.3.6 | Inquinamento acustico [A6] .....               | 65 |
| 2.4.3.7 | Emissioni in Aria [A7].....                    | 67 |
| 2.5     | Conclusione .....                              | 69 |

## **1 PREMESSA**

Questo allegato è parte integrante dello Studio Preliminare Ambientale per il “Progetto del raddoppio di Viale Leonardo da Vinci nel tratto compreso tra via Marx e via Nenni Interramento del tratto” e analizza la scelta delle alternative possibili per questo progetto.

Questo studio era stato già effettuato come parte integrante dello studio di impatto ambientale del “Progetto preliminare di raddoppio di Viale Leonardo da Vinci tra Via Marx e Via Nenni” che ha avuto parere positivo della commissione VIA n°1077 del 26.10.2012 con prescrizioni.

Questo nuovo studio parte dal precedente riprendendone fundamentalmente la metodologia e i tipi di alternative progettuali possibili, aggiornandole secondo le nuove tecnologie costruttive poste in essere per evitare il blocco della circolazione nelle soluzioni interrato.

Per quanto riguarda i costi delle possibili alternative questi sono stati volutamente lasciati uguali al precedente studio stante il carattere di paragone della metodologia (l’attualizzazione dei costi riguarderebbe nella stessa misura tutte le alternative non mutandone di fatto l’esito del confronto).

## 2 SCELTA DELLE ALTERNATIVE

### 2.1 *Descrizione delle alternative: dalla Soluzione I alla Soluzione VII*

In un progetto infrastrutturale il tema delle alternative di tracciato assume un ruolo determinante in considerazione che la soluzione di progetto non può derivare dall'applicazione di teoremi esatti ma solo e soltanto dal confronto di diverse possibili soluzioni caratterizzate dal perseguire il medesimo obiettivo che in genere è il collegamento di due poli: il polo di origine e quello di destinazione.

Nel caso specifico la complessità del tema è insita nel fatto che l'asse viario al quale ci si riferisce, ovvero il raddoppio del Viale Leonardo da Vinci, è fortemente vincolato. In altri termini moltissime delle possibili soluzioni sono impedita dalla configurazione stessa dei luoghi nonché dagli obiettivi di progetto. Ciò nonostante è stato possibile individuare sette ipotesi progettuali in maniera tale da poter valutare tutte le modalità d'intervento per individuare una soluzione conveniente sotto il profilo economico e sostenibile in relazione agli aspetti prettamente ambientali ma anche sociali.

Le soluzioni proposte sono descritte sinteticamente nel presente paragrafo e verranno poi riprese nel dettaglio nell'Analisi Multicriteri descritta nei paragrafi successivi.

Le soluzioni prese in esame e illustrate nelle tavole allegate dalla T00\_IA00\_AMB\_PP00\_A alla T00\_IA00\_AMB\_PP04\_A, sono:

- I. Raddoppio in rilevato con l'utilizzo del terrapieno attuale utilizzando pareti a retta del terreno, in modo da ridurre l'ingombro, ed ampliando il sottopasso di via Roma e di via del Purgatorio;
- II. Raddoppio in rilevato, seguendo le modalità dell'alternativa precedente, ma con l'introduzione di un sottopassaggio a collegamento tra via Tasso e via Verona in prossimità della metà del rilevato;
- III. Raddoppio in "Piloti" eliminando il rilevato esistente e sostituendolo con un ponte, in un'unica fase, che preveda la chiusura al traffico della strada durante il cantiere;
- IV. Raddoppio in "Piloti" come nel punto precedente da eseguirsi però in tre fasi, per poter mantenere la circolazione durante il cantiere;
- V. Raddoppio in trincea, in parte aperta ed in parte coperta a mezzo di una soletta in cls, conformemente alle indicazioni del piano strutturale; tale soluzione è stata studiata attraverso due metodologie costruttive che prevedono entrambe l'approntamento di una complanare e della viabilità temporanea di cantiere per evitare la chiusura al traffico della declassata. Le tecnologie costruttive possono essere riassunte in:
  - a) Realizzazione del tratto in sottopasso a mezzo di palificate profonde circa 14-15 metri.
  - b) Tramite pareti a retta fondate su "zoccolo" in cemento armato con una profondità di scavo non superiore ai 7 metri.
- VI. Raddoppio interamente in trincea completamente chiusa a mezzo della suddetta soletta in cls; con la costruzione di una complanare e di una viabilità temporanea di cantiere per evitare la chiusura al traffico della declassata.
- VII. Raddoppio in trincea per la parte prossima a via Roma e raddoppio a piano campagna nella zona di via del Purgatorio, con eliminazione della possibilità di attraversamento della stessa

via del Purgatorio. Anche in questo caso la strada dovrebbe essere chiusa durante il cantiere tuttavia, il periodo di chiusura, in relazione alle attività di cantierizzazione in progetto per detta soluzione, sarebbe di breve durata.

Occorre inoltre fare un importante precisazione in merito alle soluzioni prospettate, con particolare riferimento alla soluzione V. Tale soluzione, come visto può essere realizzata attraverso due modalità costruttive la cui differenza principale risiede nell'uso di pali trivellati che contengono lo scavo e definiscono il manufatto in sottopasso da realizzare o, viceversa, attraverso l'impiego di muri laterali fondati su zoccoli in cemento armato.

Tuttavia, pur essendo tecnicamente fattibile, ovvero essendo possibile realizzare un manufatto che sia strutturalmente resistente ai carichi imposti con quelle caratteristiche senza creare cedimenti, occorre confrontarsi con il territorio circostante che risulta fortemente antropizzato.

La tipologia con i muri laterali, infatti, ha la necessità di essere realizzato attraverso lo scavo di trincee laterali con pendenze congrue alla sicurezza delle lavorazioni. L'impossibilità pertanto di avere pendenze elevate aumenta sostanzialmente l'ingombro dell'area di cantiere in corso d'opera.

In un territorio fortemente antropizzato come quello in cui si innesta l'opera, tale condizione può risultare discriminante per decidere la fattibilità dell'intervento.

Come si nota dall'immagine sottostante infatti in alcune parti del tracciato lo scavo andrebbe ad interessare aree prossime alle fondazioni delle abitazioni, aree in cui risulterebbe impossibile mantenere le suddette pendenze e pertanto si dovrebbe ricorrere ad opere di contenimento del tutto analoghe a quelle realizzate (in veste strutturale) nella soluzione Va.

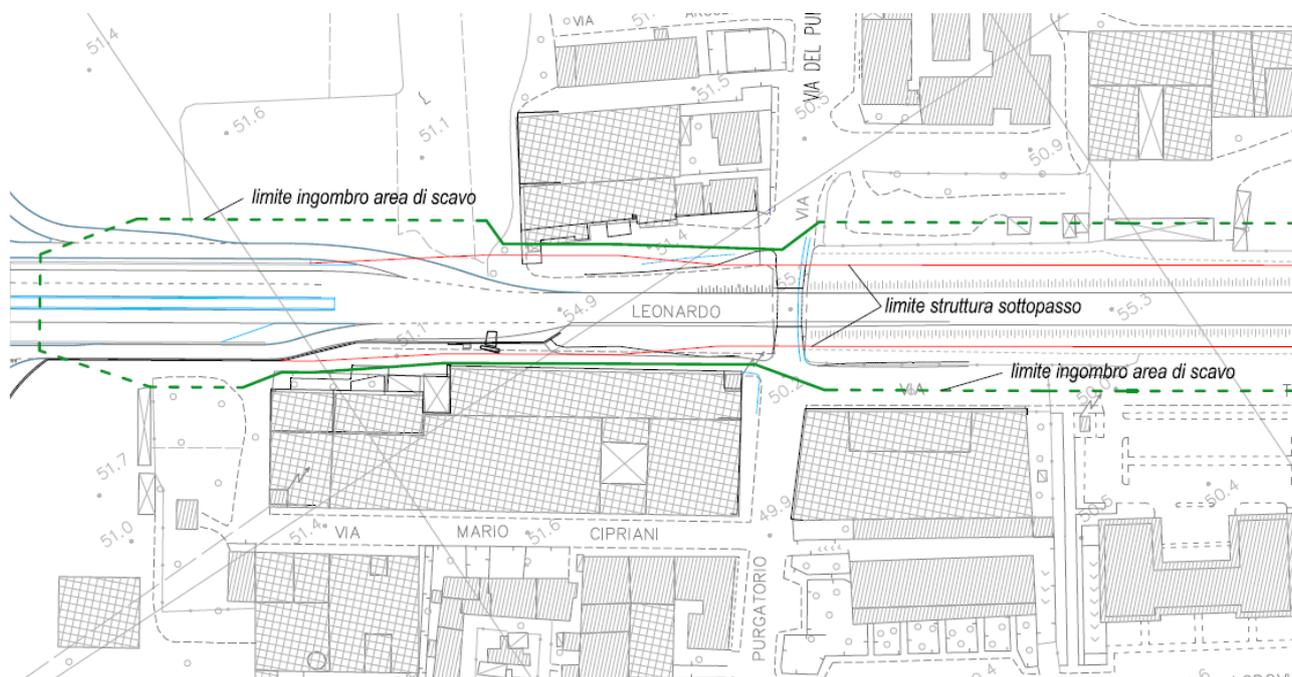


Figura 2-1 Ingombro area di scavo soluzione Vb

Nei casi in cui fosse possibile realizzare lo scavo della trincea per la realizzazione dei muri di contenimento, questo comporterebbe comunque la chiusura temporanea di alcune strade di accesso alle abitazioni "frontiste" rispetto all'asse della Declassata, il che comporterebbe un aumento dei costi "sociali" trasferiti alla popolazione residente.

Coerentemente a quanto sin qui detto risulta complessivamente insostenibile la soluzione Vb che prevede la realizzazione di una soluzione interrata attraverso l'uso di muri di sostegno, infatti a fronte di una fattibilità tecnico-strutturale dell'opera in esame non corrisponde una fattibilità tecnico-realizzativa della stessa, rendendola "ipso facto" non valutabile.

Nelle analisi successive pertanto, si farà riferimento alla soluzione V, identificando la soluzione Va realizzata attraverso pali trivellati.

## **2.2 La metodologia**

### **2.2.1 Generalità**

Nel presente paragrafo viene descritta la metodologia applicata nella scelta del progetto. Come già specificato in premessa la metodologia è stata applicata nella precedente fase di Valutazione di Impatto Ambientale. In questa sede pertanto, si intende riutilizzare "tal quale" la metodologia, aggiornandola unicamente nelle parti in cui, date le innovazioni progettuali realizzate, si è reso necessario. Per maggiore chiarezza espositiva, tuttavia, si riporta interamente la trattazione metodologica ed applicativa dell'analisi utilizzata. Occorre però fare riferimento ad alcune

considerazioni generali sulla struttura e sui requisiti della metodologia che si vuole applicare affinché questa rappresenti uno strumento efficace per lo studio delle alternative.

In particolare deve soddisfare alcune condizioni essenziali:

- L'analisi deve fornire delle indicazioni quanto più possibile oggettive degli effetti indotti dall'iniziativa, evitando giudizi di merito basati sulla comparazione di effetti positivi e negativi;
- Il confronto tra effetti diversi deve essere condotto con la maggiore trasparenza possibile ed è ammissibile solo se circoscritto alla stessa tipologia di eventi;
- Nel rispetto delle precedenti condizioni le procedure di valutazione devono consentire di incrociare il giudizio di qualità ambientale con le tradizionali valutazioni economiche e funzionali;

Affinché ciò sia possibile il processo di lavoro da sviluppare deve trovare applicazione sia per stimare le conseguenze dell'intervento, sia infine per selezionare la migliore delle alternative proponibili.

In buona sostanza, una volta definite alternative a pari livello di funzionalità, occorre affiancare alle comuni analisi tecnico economiche, ulteriori analisi che tengano conto delle esigenze sociali e ambientali del territorio in cui si inserisce il progetto.

### **2.2.2 Il modello M.A.S.S.A. <sup>1</sup>**

A tutt'oggi il problema di un confronto neutrale delle alternative di progetto è ancora irrisolto. La letteratura propone metodi diversi, tra cui le analisi multicriteriali, che hanno tuttavia in comune un approccio valutativo che non consente di superare i limiti delle valutazioni soggettive, e soprattutto, non consente un confronto tra i livelli di qualità ambientale conseguiti dal progetto e gli oneri che derivano.

Alla luce di tali considerazioni si propone un metodo che consente di valutare sia le variabili ambientali sia di superare i limiti della soggettività rendendo le alternative progettuali concettualmente omogenee sotto il profilo dell'impatto indotto sul territorio.

Il metodo M.A.S.S.A. prevede di quantificare l'azione di progetto che è causa prima di una categoria di impatto ( $I_p$  = indicatore primario), corretta in funzione di alcune peculiarità dell'alternativa in esame ( $I_s$  = Indicatore secondario) e di analoghe peculiarità territoriali ( $I_t$  = parametro di criticità ambientale).

---

<sup>1</sup> Il metodo M.A.S.S.A. acronimo di Modello Ambientale per la Scelta di Soluzioni Alternative, pubblicato su "Manuale di Ingegneria Civile e Ambientale" Volume 3 – Terza edizione – Edito da Zanichelli - 2006

In sostanza, con riferimento alla generica azione di progetto (n), l'esito dell'analisi deve fornire dei precisi dati numerici atti a descrivere lo scenario di gravità degli eventi temuti, che per l'alternativa (Q) saranno espressi nella forma  $(In)Q = f(Ip, Is, It)$ .

E' opportuno specificare, come poi verrà ripreso nei paragrafi successivi, che tale metodologia è stata realizzata per progetti a più ampia estensione territoriale, per cui, considerando valido il metodo perché si pone l'obiettivo di eliminare il più possibile elementi di soggettività dei giudizi, si è fatto sì che la metodologia fosse adeguata al progetto in esame sia per la limitata estensione del tracciato sia e soprattutto per il contesto geografico – ambientale che lo stesso interessa. Inoltre sono da considerarsi i particolari vincoli localizzativi dei poli di origine destinazione dell'opera che, tra l'altro, è prettamente urbana.

Così concepiti gli indicatori pur risultando diversi in funzione dell'azione di progetto a cui si riferiscono, presentano il vantaggio di essere espressi dalle stesse unità di misura per azioni analoghe riferite a diverse alternative. Ciò rende possibile la mutua comparazione, consentendo di confrontare i livelli di impatto stimati per ogni alternativa con la più favorevole condizione di riferimento; dal confronto risulteranno alcuni indicatori con valori più elevati che esprimono il maggior carico ambientale imputabile all'alternativa in esame.

A questo punto della procedura, quindi, si ottiene una matrice composta dagli "m" parametri ipotizzati per le "n" alternative prese in esame.

Come detto, però, ogni parametro rappresenta le interferenze sul territorio calcolate singolarmente in maniera autonoma e, quindi, non reciprocamente confrontabili ai fini di una scelta univoca della soluzione di progetto.

Nella procedura di calcolo si richiede, pertanto, un elemento che permetta la convergenza di tutti i parametri verso un unico indicatore virtuale, ma rappresentativo sia delle varie tipologie di impatto indotte, sia del grado di incidenza della singola interferenza rispetto alle altre.

A tal proposito il modello M.A.S.S.A. prevede una modalità di omogeneizzazione basata sul costo delle possibili mitigazioni necessarie per riportare a zero, o quanto meno a condizioni di minimo, le interferenze sul territorio. In altre parole, l'elemento costo può caratterizzare la difficoltà di intervenire progettualmente per abbattere gli impatti secondo il principio che è tanto maggiore l'incidenza ambientale di un progetto, quanto maggiore è il costo degli interventi necessari per annullarne gli effetti: ne consegue che al maggior costo corrisponde un maggior "peso" del parametro per la sua complessità rispetto al sistema progettuale – mitigativo che richiede.

Il passo finale con cui si conclude l'intera procedura prevista dal modello M.A.S.S.A. prevede la sommatoria degli "m" parametri virtuali al fine di ottenere un unico valore per ogni alternativa e tale da individuare matematicamente l'alternativa progettuale più idonea al contesto territoriale.

### 2.2.3 Applicazione e taratura

Come già accennato nel paragrafo precedente il modello originario è stato pensato su scale di intervento differenti dal progetto in esame. Nel caso di specie, infatti, si fa riferimento ad un'ipotesi progettuale particolare in cui le alternative si sostanziano in varianti altimetriche e che pertanto non si differenziano in termini di territori attraversati ma unicamente in termini di opere d'arte e quote altimetriche.

Per applicare correttamente la procedura, pertanto, si è resa necessaria un'operazione di taratura del modello e dei singoli indicatori del modello, per giungere alla scelta della migliore alternativa progettuale.

Partendo all'inizio della metodologia si è visto come ogni indicatore dipenda da tre componenti: un indicatore primario, un indicatore secondario ed un indicatore territoriale secondo lo schema riportato in Figura 2-2:

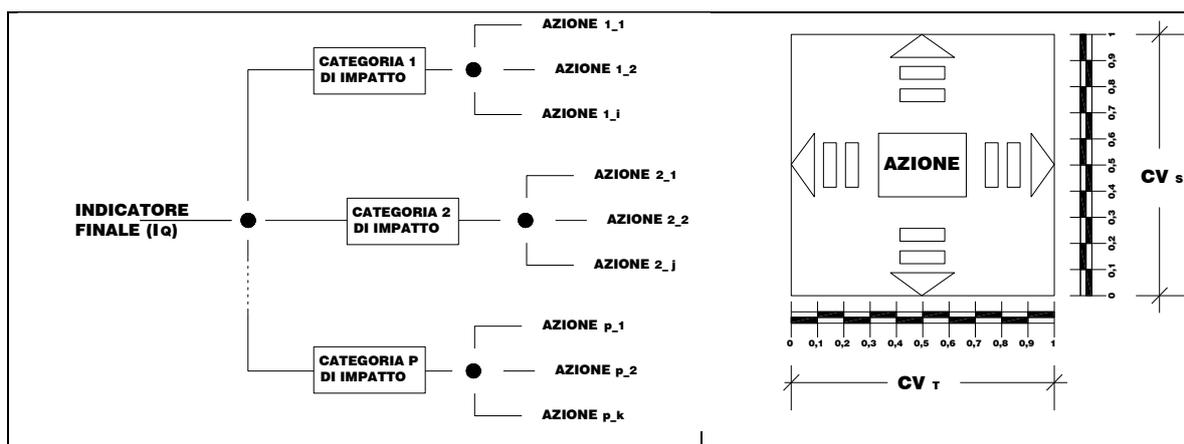


Figura 2-2 Componenti indicatori

L'indicatore primario si riferisce alla categoria di impatto interferita mentre l'indicatore secondario e l'indicatore territoriale costituiscono un coefficiente di correzione dell'indicatore primario. Pertanto il loro valore è compreso tra 0 e 1.

Rispetto a quanto sin qui detto, l'indicatore territoriale, può essere trascurato nel caso in esame. Infatti essendo le alternative riferite allo stesso ambito territoriale (locale) risulterebbe identico per tutte le alternative e pertanto non aggiungerebbe informazioni significative al modello.

Per quanto riguarda l'indicatore secondario, questo rappresenterebbe, per la maggior parte degli indicatori di un peso individuale dato dal valutatore, che mentre per un progetto di ampia scala potrebbe essere un'approssimazione accettabile, nel caso in essere si inserirebbe quel carattere di soggettività che invece, con l'uso del presente modello si vorrebbe eliminare.

Considerato quanto sin qui detto, il processo di taratura, si è sostanziato nella decisione di prendere a riferimento, per il calcolo dei diversi indicatori il solo indicatore primario. Rispetto a quanto visto nel paragrafo precedente la nuova formulazione semplificata per il calcolo dell'indicatore sarebbe pari a:

$$Q = f(I_p)$$

Definiti i processi di taratura occorre provvedere alla definizione di una check list che definisca le diverse categorie di impatto, in base alle caratteristiche delle alternative da studiare.

Di seguito si riporta la check list utilizzata per il progetto in esame:

| Ambito   | Categorie di impatto                                      | Cod.      | Azione  | U.M.           | Fase di applicazione        |
|----------|---|-----------|---|----------------|-----------------------------|
| <i>E</i> | Incidenze sulle risorse economiche pubbliche              | <i>E1</i> | Costi di costruzione e manutenzione                       | €              | Realizzazione               |
| <i>S</i> | Incremento dei tempi di percorrenza                       | <i>S1</i> | Modifica della circolazione in fase di cantierizzazione   | h              | Realizzazione               |
| <i>S</i> | Incidenza sulle risorse economiche private                | <i>S2</i> | Consumi di carburante                                     | L              | Realizzazione               |
| <i>S</i> | Limitazione della continuità funzionale tra fronti urbani | <i>S3</i> | Presenza di barriere infrastrutturali                     | n°             | Realizzazione               |
| <i>S</i> | Limitazione dello spazio pubblico                         | <i>S4</i> | Creazione di aree del connettivo urbano                   | m <sup>2</sup> | Esercizio                   |
| <i>S</i> | Malfunzionamenti dei servizi pubblici                     | <i>S5</i> | Interferenza con i sottoservizi                           | n              | Realizzazione               |
| <i>A</i> | Incremento dei Gas Serra                                  | <i>A1</i> | Produzione di CO <sub>2</sub> in fase di cantierizzazione | t              | Realizzazione               |
| <i>A</i> | Consumo di risorse non rinnovabili                        | <i>A2</i> | Approvvigionamento di materiali pregiati                  | m <sup>3</sup> | Realizzazione               |
|          |   | <i>A3</i> | Conferimento di materiale a discarica                     | m <sup>3</sup> | Realizzazione               |
| <i>A</i> | Limitazione della continuità visiva tra fronti urbani     | <i>A4</i> | Presenza di elementi infrastrutturali in elevazione       | m              | Realizzazione               |
| <i>A</i> | Interferenza con la falda                                 | <i>A5</i> | Compromissione della risorsa idrica                       | m              | Realizzazione/<br>Esercizio |
| <i>A</i> | Interferenza con la salute umana                          | <i>A6</i> | Inquinamento acustico                                     | m <sup>2</sup> | Esercizio                   |
|          |   | <i>A7</i> | Emissioni in Aria   | m <sup>2</sup> | Esercizio                   |

Tabella 2-1 Check List Indicatori M.A.S.S.A.

Definita la check list di riferimento per ogni azione è stata realizzata una scheda in cui si evidenziano le caratteristiche dei singoli elementi costituenti l'impatto.

Il valore finale dell'indicatore sarà dato da:

$$VFI_n = I_{p,n} \quad \text{Equazione 1}$$

Questo comporta che per la soluzione progettuale ennesima (n) si avrà un valore di indicatore finale pari al valore dell'indicatore primario. Pertanto per ogni azione si avranno un numero di VFI pari al numero di alternative di progetto, così come riportato nel grafico esemplificativo seguente.

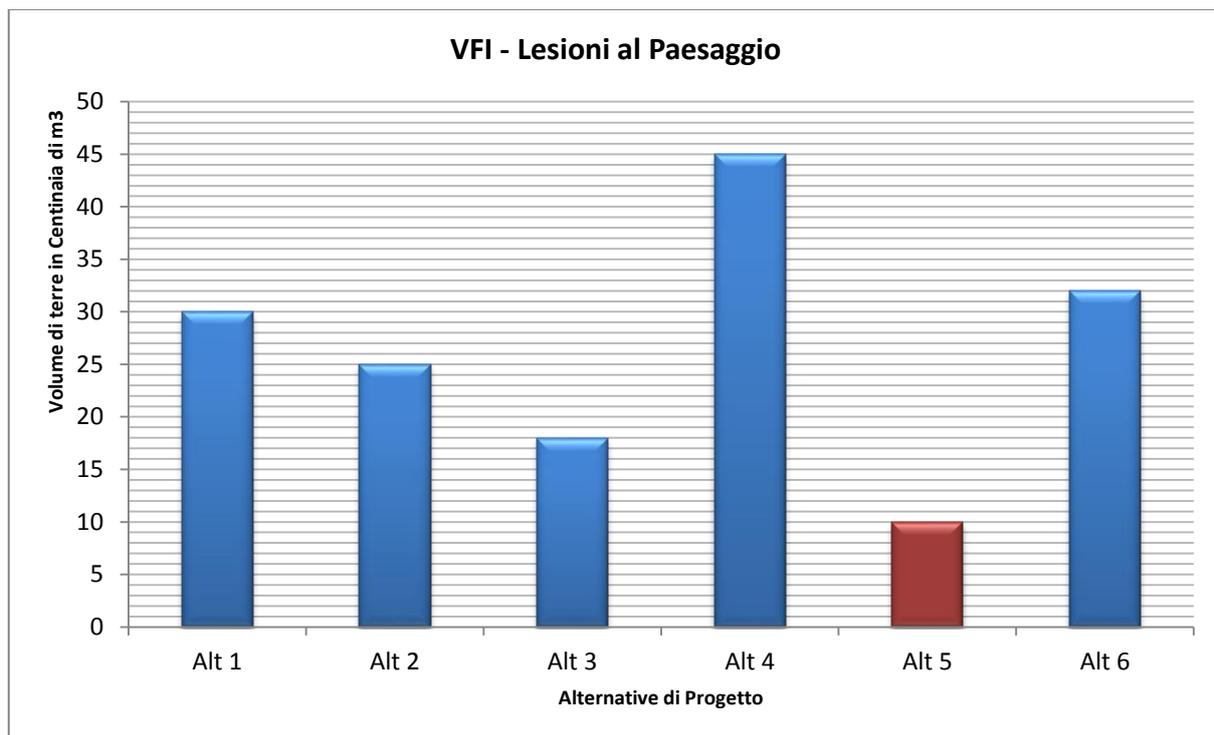


Figura 2-3 Esempio di valore di VFI per l'azione Lesioni al Paesaggio per ogni alternativa di progetto

Il passo successivo per il calcolo è quello di calcolare il parametro di confronto, ovvero la maschera dei minimi, attraverso la quale confrontare tutte le alternative. Come si nota nel grafico precedente, è stato individuato tra tutte le soluzioni progettuali, quella che minimizza l'indicatore "Lesioni al Paesaggio". Nel caso in esame a titolo esemplificativo risulterebbe la soluzione 5 quella a minor interferenza. Ciò vorrebbe dire che, rispetto al parametro individuato e riportato nelle ordinate, per il parametro in esame non è possibile ottenere il collegamento in analisi senza avere per lo meno l'interferenza creata dall'alternativa 5.

Tale valore verrà preso come parametro di confronto rispetto alle altre soluzioni progettuali.

Reiterando il processo di calcolo a tutti gli indicatori si potrà determinare la "Maschera dei minimi". In questo modo l'alternativa ideale è rappresentata da un ipotetico mix delle varie alternative ed è definita dalla maschera dei minimi così come rappresentata in figura sottostante:

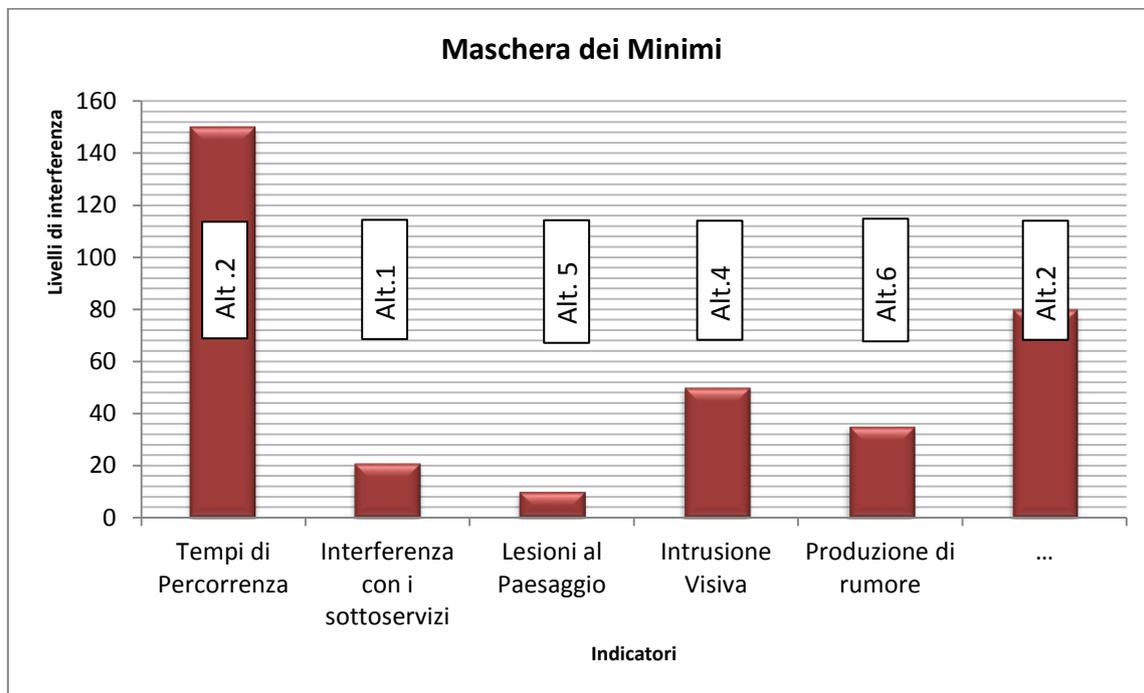


Figura 2-4 Esempio di "Maschera dei Minimi"

Si può pensare di fare in modo che tutte le alternative diventino alternative ideali qualora sia possibile riportare i valori di tutti i parametri che eccedono la maschera dei minimi al valore della maschera stessa. In tal caso le soluzioni sono equivalenti.

A titolo di esempio, se la soluzione "6" rappresenta il valore di minimo per l'indicatore produzione di rumore, occorre far sì che le altre soluzioni vengano riportate al livello della soluzione 6 attraverso delle misure di compensazione o mitigazione. Nel caso in esempio, si può considerare, l'applicazione di barriere fonoassorbenti che permettano di considerare le alternative equivalenti sotto il profilo dell'indicatore "Produzione di rumore".

Una volta definito il quantitativo di barriere fonoassorbenti necessarie alla riduzione al livello di minimo è possibile quantificarne il diverso costo per ogni alternativa. Tale costo andrà poi sommato ai costi di costruzione.

Nella figura seguente viene mostrato il confronto tra l'alternativa 1 e la maschera dei minimi. Come si nota per alcuni indicatori la soluzione in esame rappresenta la minima interferenza tra le diverse alternative, e, pertanto, non necessita di mitigazioni aggiuntive. Per altri indicatori invece, la soluzione in esame è lontana dal minimo (definito nei diversi indicatori da soluzioni progettuali diverse) e pertanto necessita di interventi di tipo mitigativi e/o compensativi.

E' importante aggiungere come tali mitigazioni siano del tutto "teoriche", ovvero indipendenti dallo studio di impatto ambientale e realizzati solo ai fini della quantificazione economica della differenza di valore attribuita all'indicatore.

Con riferimento all'esempio precedente, se la soluzione 6, rappresentante il valore della maschera del minimo presenta un livello di Leq pari a 50 dB(A) e la soluzione i-esima con cui la si sta confrontando presenta un valore superiore, ad esempio 60 dB(A) si deve prevedere una barriera fonoassorbente tale da abbattere i 10 decibel di differenza indipendentemente dal valore limite di normativa. In sostanza anche se il territorio in cui si inserisce l'infrastruttura presenta un limite, in termini di Leq pari a 70dB(A) devo comunque riportare la mia alternativa al livello del minimo dato dalla soluzione 6 pari a 50 dB(A). Se al termine della metodologia dovesse emergere quale alternativa più performante, un'alternativa diversa dalla 6 non dovrò realizzare tale mitigazione (ed in questo senso la mitigazione assume il carattere di "teorico" definito in precedenza) ma dovrò realizzare solo le mitigazioni previste dalle norme cogenti. Nel caso di esempio, la realizzazione delle barriere e la loro quantificazione economica, sono state utilizzate ai soli fini di associare un costo, e quindi una valutazione oggettiva, alla differenza di interferenza data dalle diverse soluzioni progettuali.

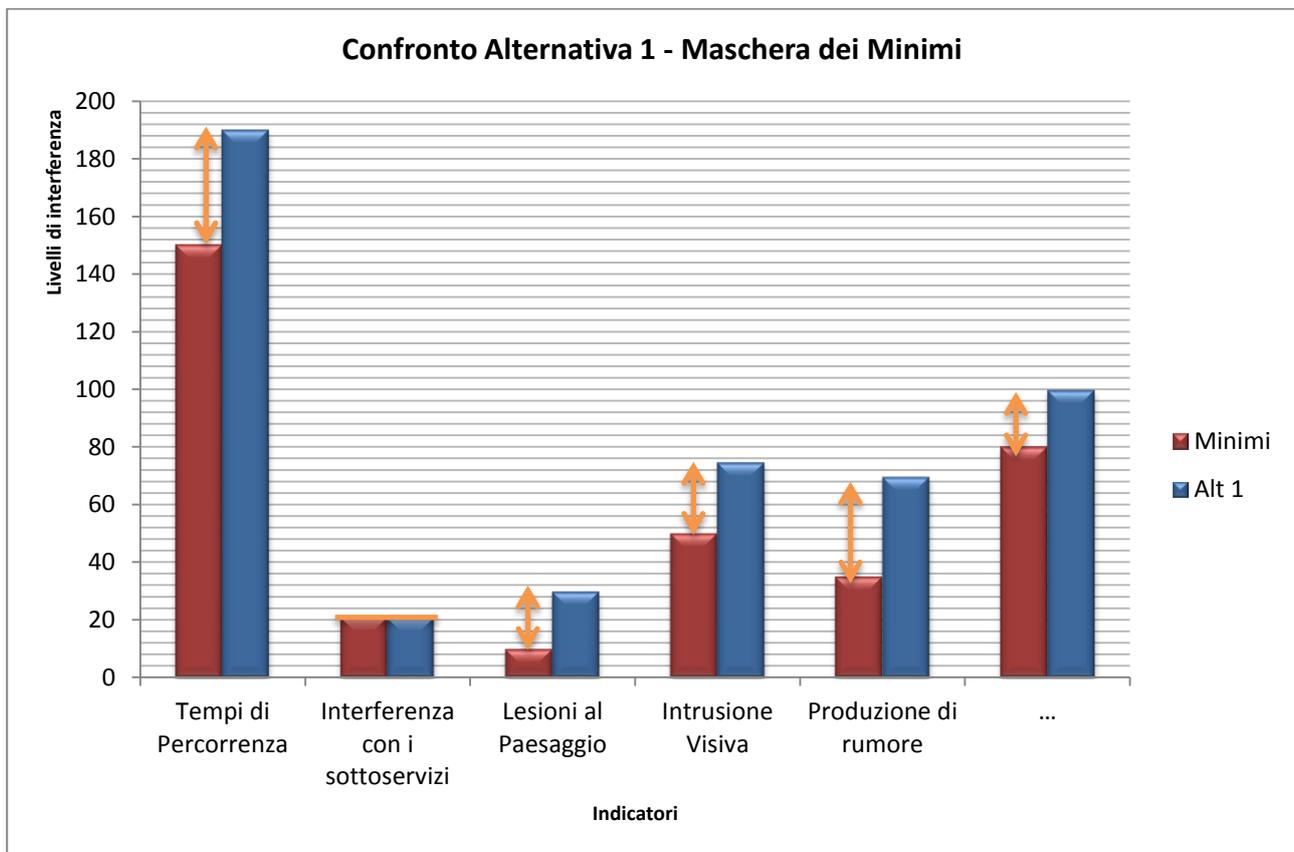


Figura 2-5 Esempio di Confronto Alternativa1 - Maschera dei minimi

In sintesi il lavoro da compiere è quello di individuare soluzioni tecniche atte a ridurre le interferenze tra gli indicatori della soluzione i-esima e i minimi degli indicatori stessi.

Definite le soluzioni occorre quantificarne l'onere economico necessario per realizzarle.

La somma dei costi necessari per riportare la soluzione "x" al valore della maschera dei minimi, sommato a quello necessario per la sua realizzazione dà luogo ad un valore oggettivo che è il costo ipotetico di costruzione necessario per realizzare l'opera con il minimo livello di interferenza.

E' importante sottolineare che tale costo, così come specificato in precedenza per la mitigazione, è ipotetico e strumentale alla sola elaborazione del modello.

Nei Paragrafi successivi verranno descritti nel dettaglio gli indicatori e le modalità di calcolo, con particolare riferimento alla quantificazione dei costi di minimizzazione ambientale.

## **2.3 Definizione degli indicatori**

### **2.3.1 Indicatori Economici**

#### *2.3.1.1 Costi di Costruzione e manutenzione [E1]*

Come illustrato nella metodologia, se pur sono inseriti tra gli indicatori, i costi economici sono gli indicatori che non compongono la "maschera dei minimi" ma sono quei valori a cui si va a sommare il costo delle mitigazioni ambientali e che determineranno quindi la soluzione con il minor costo secondo i tre ambiti di riferimento scelti.

I costi economici si dividono essenzialmente in due: Costi di Costruzione e Costi di Manutenzione.

Per quanto riguarda i costi di costruzione si è fatto riferimento ai vari quadri economici elaborati per ogni soluzione.

In questo modo è stato possibile determinare il costo economico di ogni soluzione. In particolare facendo riferimento alla tabella sottostante si ha:

| <b>Soluzione</b> | <b>Costi di costruzione<br/>milioni di euro</b> |
|------------------|---|
| Soluzione I      | 17,00   |
| Soluzione II     | 20,60   |
| Soluzione III    | 24,65   |
| Soluzione IV     | 26,52   |
| Soluzione V      | 32,00   |
| Soluzione VI     | 33,05   |
| Soluzione VII    | 13,11   |

Tabella 2-2 Costi di costruzione in milioni di euro

Come già specificato nella premessa i costi non sono stati cambiati rispetto allo studio originale perché essendo l'attività in essere un'analisi tra alternative, ovvero un confronto tra diverse soluzioni, non è significativa l'attualizzazione dei costi bensì il delta tra questi.

Strettamente connessi al tema dei costi, rientrano tutte le attività di manutenzione ordinaria che le diverse opere prevedono. Infatti si intende con manutenzione ordinaria delle strade l'insieme delle azioni manutentive che hanno lo scopo di riportare la strada, o una parte di essa, che presenta condizioni di ammaloramento ad uno stato qualitativo precedente all'insorgere dell'ammaloramento stesso.

In altre parole occorre mantenere le condizioni di qualità in cui versa la strada il più possibile vicine a quelle in cui, la strada stessa, versava al momento dell'apertura alla circolazione. E' facilmente intuibile l'entità che può assumere tale costo se si considera che dovrà essere protratto ad intervalli costanti nel tempo per tutta la vita utile dell'opera.

I costi della manutenzione e della custodia delle strade è competenza dell'Ente proprietario delle strade stesse, così come definito dall'art 16 della L 20 Marzo 1865, n. 2248, all F e all'art.5 del R.D. 15 novembre 1923, n.2506.

Nel caso in esame i costi di manutenzione sarebbero di competenza comunale, andando a gravare quindi in maniera ancor più diretta sugli abitanti del Comune di Prato.

Alla luce di quanto sin qui detto, occorre inserire anche i costi di manutenzione ordinaria che le diverse alternative prevedono, in maniera tale da avere un quadro economico completo a cui poter sommare i costi sociali e i costi ambientali delle diverse alternative.

Nel calcolo di questo indicatore possono essere scorporate delle invarianti, ovvero dei costi di manutenzione che sono indipendenti dalle alternative progettuali, perché dipendenti da alcune variabili, quali i flussi di traffico, che nelle diverse soluzioni rimangono costanti.

A titolo di esempio, non verrà considerata, nei costi di manutenzione il rifacimento del tappetino di usura, rifacimento che può essere collegato allo spettro di traffico e alle velocità dei veicoli, che nelle differenti soluzioni progettuali, e per il tratto in esame, può essere ragionevolmente considerato quale invariante progettuale.

Viceversa, alcune grandezze sono sensibilmente differenti, da soluzione a soluzione. In particolare si possono considerare quali spese manutentive variabili da soluzione a soluzione:

- Impianti di illuminazione
- Pulizia/Lavaggio della pavimentazione
- Smaltimento delle acque

Queste tre classi di manutenzione, a differenze di quella citata a titolo esemplificativo precedentemente, variano sensibilmente in funzione della tipologia stradale e più in particolare in funzione delle diverse opere d'arte che le soluzioni prevedono.

Per quanto riguarda gli impianti di illuminazione all'interno delle gallerie, questa è regolamentata dalle norme CIE 88/90 "Guide to the lighting of road tunnels and underpasses" e dalle norme UNI 11095 "illuminazione delle gallerie", le quali regolano i livelli massimi di luminanza e il loro andamento. Il problema in questo caso è legato alla sicurezza stradale, per cui l'effetto della luminanza ambientale è la formazione di una luminanza di velo, che riduce il contrasto di un ostacolo e quindi la sua visibilità. In altre parole, se la differenza di luminanza all'esterno della galleria con quella immediatamente agli imbocchi, è molto alta, un eventuale ostacolo posto all'interno della galleria (una macchina ferma ad esempio) risulterebbe poco visibile, aumentando sensibilmente la probabilità di accadimento di un evento incidentale. Per evitare tali situazioni, nelle gallerie occorre prevedere, con particolare riferimento agli imbocchi, adeguati sistemi di illuminazione, in modo tale da ridurre il delta di luminanza tra l'imbocco e la parte esterna. È immediatamente intuibile come questo delta sia massimo durante il giorno, pertanto l'illuminazione artificiale dovrà essere presente anche in tali ore, aumentando così sia le ore di funzionamento e di conseguenza i costi di gestione dell'impianto, sia l'usura degli apparecchi a cui sono collegati i costi di manutenzione.

In questo caso potremo dividere le nostre soluzioni progettuali in due classi:

- Le soluzioni a "aperte": per cui non è prevista la necessità illuminazione diurna;
- Le soluzioni "chiuse": in cui è prevista la realizzazione di un impianto di illuminazione continuo;

Nella prima classe ricadono le soluzioni in rilevato, quelle che prevedono la realizzazione di un ponte e la soluzione a raso, ovvero la soluzione I, II, III, IV e la soluzione VII. Alla seconda classe appartengono invece le soluzioni interrate, ovvero la V e la VI.

Per quanto riguarda i costi di manutenzione degli impianti luminosi può essere assunto, con buona approssimazione, considerando una vita utile pari a 20 anni risulta pari rispettivamente a 7.800€ e 24.000€.

Per quanto riguarda i costi di gestione degli impianti, occorre considerare un funzionamento di 24 ore per le soluzioni chiuse e di un funzionamento di 12 ore per le soluzioni aperte. Inoltre diminuiscono anche il passo dei punti luminosi che passa da rispettivamente da 10 a 30 metri. Il costo di gestione per la durata della vita utile è pari a 150.000 € nel caso di soluzioni "chiuse" a 20.000€ per le soluzioni aperte.

A tali costi vanno sommati i costi necessari alla pulizia delle strade. Il transito dei veicoli comporta la diffusione lungo la piattaforma stradale di sostanze in grado di alterare suoli ed acque, in particolare, tale diffusione dipende da due grandezze:

- Rilasci al suolo di parti di usura dei pneumatici, dei freni ed altre parti meccaniche, perdite di combustibili e lubrificanti e altri liquidi;
- Fall-out di tempo secco.

Proprio da quest'ultimo punto dipende la differenza tra i progetti di tipo "aperto" e di tipo "chiuso". Durante gli eventi di pioggia, per effetto del fall-out di tempo umido e del dilavamento degli inquinanti accumulati, vengono trasferiti alla rete idrica le acque di prima pioggia contenenti elevate concentrazioni di inquinanti. Il tema chiave è quello del BUILD UP, ovvero dell'accumulo di inquinanti sulla pavimentazione.

In sostanza, maggiori sono i valori di tempo asciutto (ovvero i tempi per cui la pavimentazione non subisce fenomeni di "lavaggio" ad opera delle precipitazioni o del lavaggio meccanico) maggiori saranno le concentrazioni di inquinanti che si accumulano sulla superficie.

Ovviamente, in caso di evento meteorico intenso, il quantitativo di inquinanti che verrebbero trasportati dalle piogge, a seguito di un tempo asciutto molto lungo, sarebbe molto elevato, con conseguenti problemi per l'ambiente idrico.

Per evitare che venga trasferito alla rete fognaria o più in generale per evitare che possibili infiltrazioni di acqua molto inquinata vadano ad interferire la falda, si possono seguire due strategie:

- Realizzare delle vasche di raccolta delle acque di prima pioggia, che generalmente è quella che trasporta i 2/3 della massa totale di inquinanti sospesi;
- Prevedere la pulizia meccanica delle strade, al fine di ridurre il "Build up" diminuendo in maniera indiretta il "tempo asciutto";

Ovviamente, la prima soluzione richiede spazi molto ampi (che in un ambito fortemente antropizzato non è un problema secondario) per la realizzazione delle vasche oltre ad un notevole impegno economico. La seconda soluzione, per il caso in esame appare sicuramente più vantaggiosa.

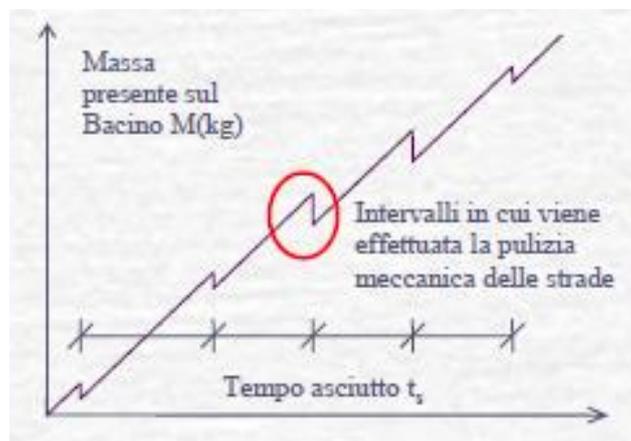


Figura 2-6 Accumulo degli inquinanti

Anche in questo caso la soluzione definita precedentemente come “aperta” si differenzia dalla soluzione “chiusa”. In questo caso nella soluzione aperta, essendo esposta alle precipitazioni, il tempo asciutto diminuisce notevolmente, a differenza del caso della soluzione chiusa dove, il lavaggio della pavimentazione si avrebbe solamente per eventi meteorici di una certa portata, in grado di far percolare l’acqua anche alle parti coperte. Inoltre anche il quantitativo in termini di concentrazione inquinanti, data la natura strutturale delle alternative “chiusa”, sarà maggiore. Coerentemente a quanto sin qui detto è opportuno diversificare le frequenze di lavaggio della pavimentazione per le due tipologie di soluzioni. Anche in questo caso, facendo riferimento al termine di vita utile della pavimentazione in circa 43000€ per le soluzioni chiuse e circa 20000€ per le soluzioni aperte.

## 2.3.2 Indicatori Sociali

### 2.3.2.1 Modifica della circolazione in fase di cantierizzazione [S1]

Quest’indicatore è stato pensato per tener conto del tempo perso nell’attraversamento di via L. Da Vinci, dovuto alla presenza del cantiere, in tutte le differenti alternative progettuali. In particolare le diverse soluzioni si dividono in due classi principali:

- ◇ Le alternative che prevedono la chiusura di Via L. Da Vinci, con la deviazione del traffico attualmente presente sull’infrastruttura su un by pass urbano (cfr. Figura 2-8);
- ◇ Le alternative che, grazie ad una cantierizzazione a sezioni parzializzate, o con la costruzione di una complanare a doppio senso di circolazione (cfr. Figura 2-7), permetteranno, se pur a velocità ridotte, l’attraversamento dell’infrastruttura esistente.



Figura 2-7 Progetto di fattibilità costruzioni della complanare

In particolare il percorso alternativo calcolato per la presenza della Declassata chiusa è quello mostrato in figura sottostante:



Figura 2-8 bypass per Declassata chiusa fonte: *Analisi costi sociali allegato proposta dei delibera Lug.2011*

La lunghezza del tratto interrotto di Via L. da Vinci è di circa 4100 metri contro una lunghezza del by pass di circa 8750 m. Il delta tra le due opzioni è, pertanto, di circa 4,5 Km. Oltre alla maggiore distanza percorsa nel bypass si incontrano una serie di intersezioni a rotatoria (in totale ben 16 intersezioni) che inevitabilmente aumentano il tempo di percorrenza. Per calcolare il tempo di percorrenza nei due casi, occorre fare alcune ipotesi:

- ◇ Velocità media di attraversamento Via L. da Vinci in caso di lavori pari a 30 Km/h ovvero 8,33 m/s;
- ◇ Tempo di attraversamento per rotatoria su bypass pari a 20 sec;
- ◇ Velocità di percorrenza su bypass pari a 40 Km/h ovvero 11,11 m/s;
- ◇ Traffico di percorrenza pari a 40000 veicoli giorno;

A questo punto possono essere definiti i tempi di percorrenza  $T_{L,i}$  (tempo di percorrenza senza bypass in secondi) e  $T_{B,i}$  (tempo di percorrenza con bypass in secondi) per il singolo utente:

$$T_{L,i} = \frac{4114}{8,33} = 496 \text{ sec.} \quad \text{Equazione 2}$$

$$T_{B,i} = 16 \times 20 + \left( \frac{8762-2800}{11,11} \right) = 856 \text{ sec.} \quad \text{Equazione 3}$$

Riferendosi alla totalità degli utenti che percorrono l'infrastruttura in un giorno medio (attraverso il TGM), definendo così un tempo perso da parte della collettività si ha che:

$$T_{L,Tg} = \frac{496}{3600} \times 40000 = 5510 \text{ ore.}$$

Equazione 4

$$T_{B,Tg} = \frac{856}{3600} \times 40000 = 9510 \text{ ore.}$$

Equazione 5

Infine, dato che l'indicatore è legato alla realizzazione dell'intervento, e pertanto deve essere quantificato in funzione del tempo impiegato nella realizzazione dei lavori. Considerando i diversi tempi di realizzazione per le diverse soluzioni, e moltiplicandolo per il tempo giornaliero definito in precedenza si può stimare il tempo perso totale per i diversi interventi. Il valore in ore è riassunto nel grafico sottostante:

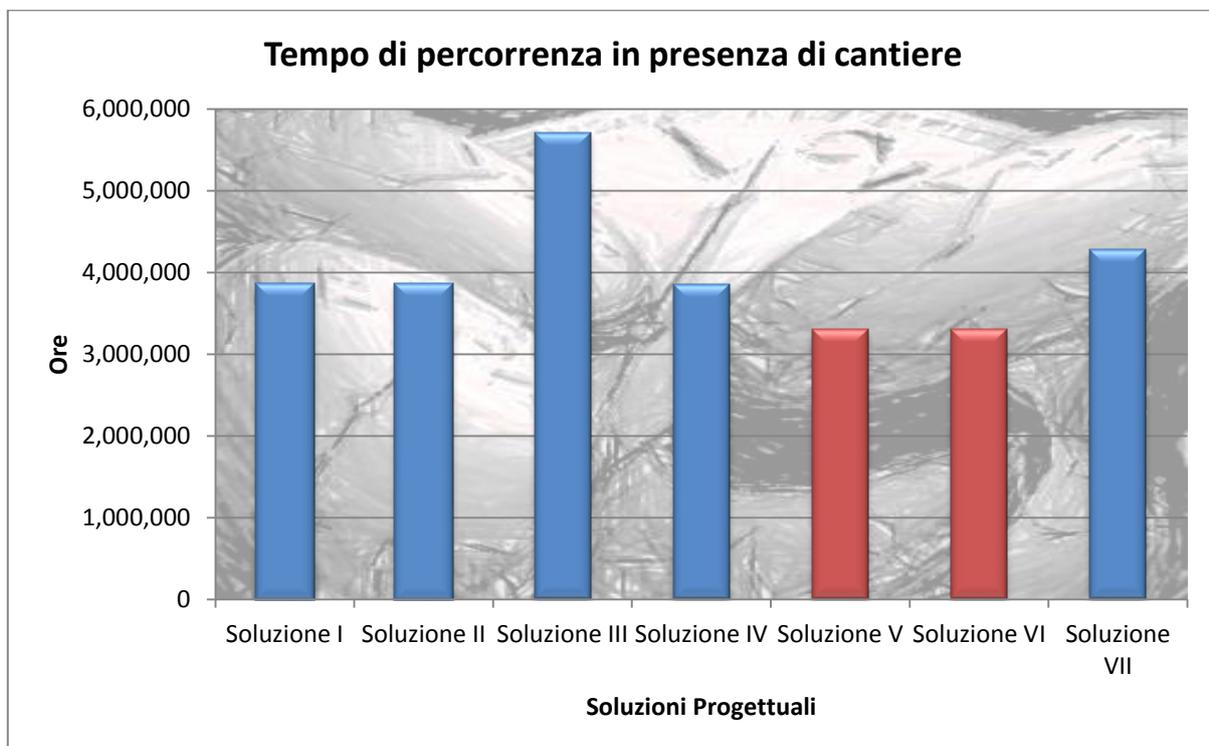


Figura 2-9 Indicatore S1 Tempi di percorrenza in presenza di cantiere

In questo caso, le soluzioni più performanti sono la soluzione V, VI

### 2.3.2.2 Consumi di Carburante [S2]

Direttamente collegati all'indicatore precedente sono i diversi consumi di carburante dovuti alla presenza del cantiere nelle diverse alternative progettuali.

In analogia a quanto visto nel paragrafo precedente occorre fare alcune ipotesi di lavoro, ferme restando quelle già assunte per l'indicatore S1, ed in particolare si può assumere un consumo di carburante medio (funzione delle velocità di percorrenza sui tratti in esame) pari a 6 litri ogni 100Km.

Anche in questo caso avremo essenzialmente due scenari con e senza bypass e rispettivamente due consumi  $C_{L,i}$  e  $C_{B,i}$  riferiti al singolo utente

$$C_{L,i} = 0.06 \times 4.114 = 0.24684 \text{ litri}$$

Equazione 6

$$C_{B,i} = 0.06 \times 8.762 = 0.52572 \text{ litri}$$

Equazione 7

Riferendosi alla totalità del traffico che insiste sull'infrastruttura ovvero 40000 veicoli/giorno si ha un consumo nei due casi di:

$$C_{L,Tg} = 0.24684 \times 40000 = 9874 \text{ litri}$$

Equazione 8

$$C_{B,Tg} = 0.52572 \times 40000 = 21029 \text{ litri}$$

Equazione 9

Analogamente a quanto fatto in precedenza si può fare riferimento all'intero periodo dei lavori per stimare il valore totale di carburante in più necessario al raggiungimento dei poli di interesse nei due casi, con o senza, la chiusura di Viale Leonardo da Vinci. Anche in questo caso, si dovrà tener conto dei diversi tempi di realizzazione impiegati nelle diverse soluzioni progettuali, in modo da poter definire il surplus di consumi di carburanti dovuto alla presenza del cantiere.

I valori relativi ad ogni soluzione progettuale sono sintetizzati nel grafico sottostante.

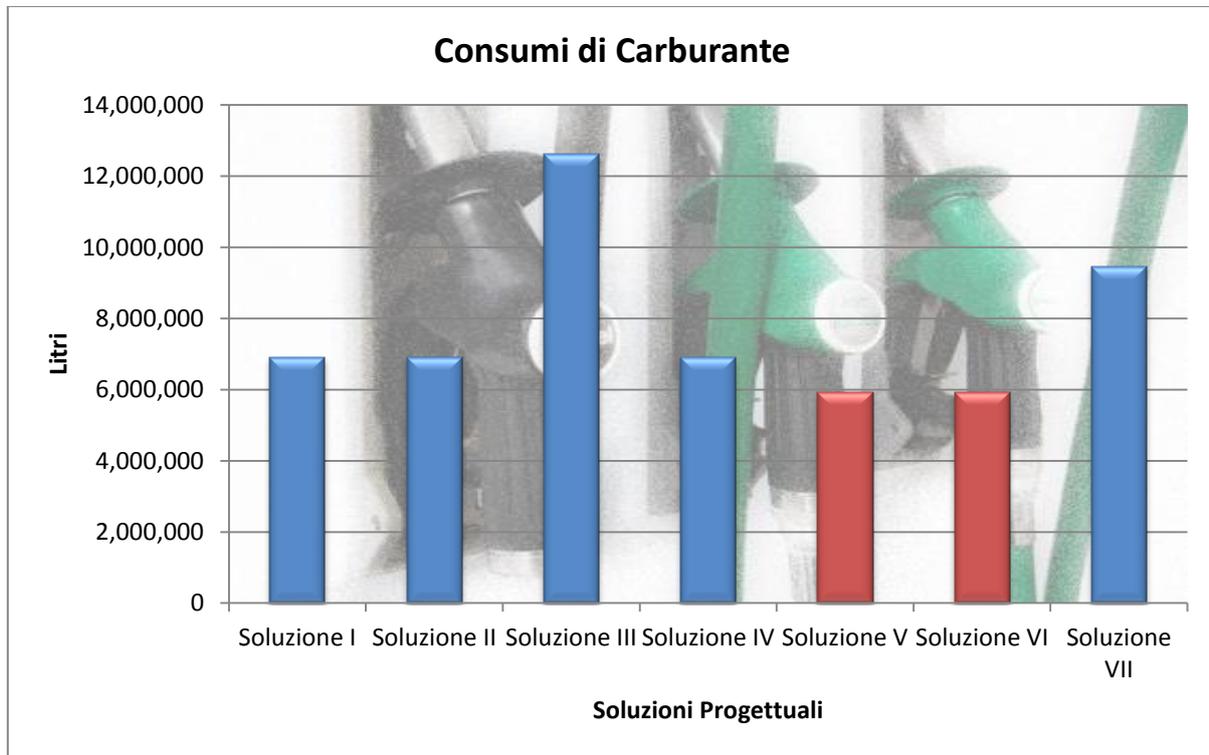


Figura 2-10 Indicatore S2 Consumi di Carburante

Coerentemente a quanto visto nell'indicatore precedente legato ai "perditempo", le soluzioni più performanti sono la soluzione V, VI.

### 2.3.2.3 Presenza di barriere infrastrutturali [S3]

L'indicatore nasce con l'obiettivo di verificare quanto le diverse soluzioni progettuali impattino sulla continuità funzionale dei fronti urbani. Coerentemente agli obiettivi stabiliti sia in ambito provinciale con il piano territoriale di coordinamento (l'art.15 delle NTA ristabilisce un ruolo centrale di distribuzione delle funzioni urbane da parte della Declassata), sia in ambito comunale con il piano strutturale, (il piano prospetta il ricongiungimento delle funzioni tra parte sud e parte nord della città), si è ritenuto idoneo formulare un indicatore capace di pesare questo tipo di trasformazione.

La formulazione dell'indicatore nasce dall'estensione dei tratti fisicamente non attraversabili che, proprio per la loro natura d'essere, intercludendo gli spazi, limitano la facoltà del cittadino di "vivere", con maggior facilità spazi omologhi della città.

In quest'ottica si possono ragionevolmente considerare i "blocchi" di edifici ai quali non è permesso l'attraversamento della declassata come indicatori utili al fine del calcolo dell'indicatore.

In questo modo, quindi, si considerano i tratti di infrastruttura "impermeabili" dal punto di vista prettamente fisico (e non visivo come meglio si vedrà nei paragrafi degli indicatori ambientali). Gli

edifici che vengono considerati in questa analisi sono gli edifici frontisti, rispetto alla declassata, in quanto gli edifici che si trovano in posizione arretrata, data la presenza dei frontisti stessi, si trovano già in una situazione di impermeabilità e le alternative progettuali non ne modificano lo stato.

In figura vengono riportati, a titolo di esempio, gli edifici presi in considerazione per l'analisi.



Figura 2-11 Edifici frontisti presi in considerazione nell'analisi dell'indicatore

Si può notare nell'esempio come, nel caso della soluzione a raso, sia impossibile attraversare fisicamente la declassata in corrispondenza di tutti edifici presenti nella parte centrale dell'attraversamento.

Il calcolo dell'indicatore per ogni tipologia di soluzione è sinteticamente riportato nel grafico in tabella:

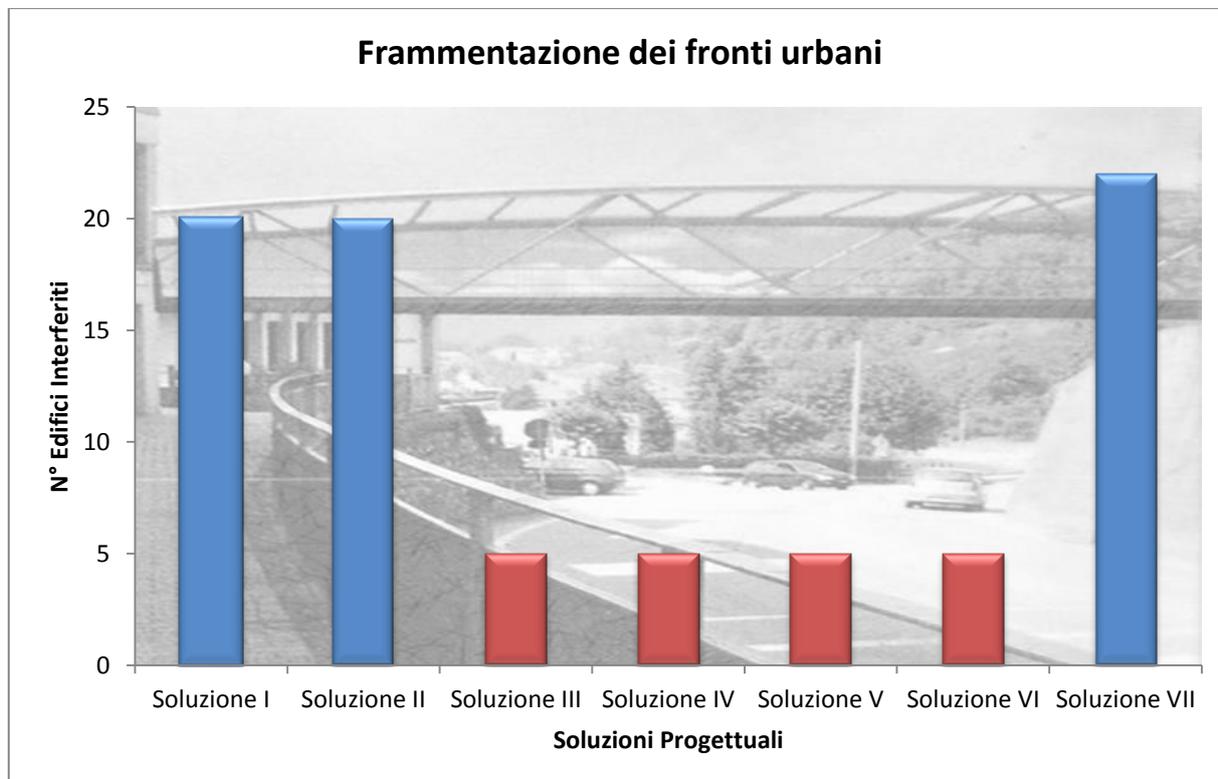


Figura 2-12 Indicatore S3 Frammentazione dei fronti urbani per le diverse soluzioni progettuali

Inoltre, per l'indicatore in esame, occorre effettuare un'ulteriore considerazione riguardo alla soluzione VII. Tale soluzione infatti, oltre ad essere quello con il maggiore grado di interferenza per quanto riguarda la permeabilità "pedonale" del territorio, presenta un'ulteriore criticità, ovvero un'impermeabilità stradale, data dall'interruzione di via del Purgatori.

Tale interferenza deve essere considerata all'interno del calcolo della frammentazione dei fronti urbani e più in generale del territorio.

Nel calcolo del computo economico delle mitigazioni e/o compensazioni da trasferire al territorio, che verrà valutato nei paragrafi successivi, si dovrà tener conto del deficit funzionale dato dalla mancata possibilità di attraversamento dell'infrastruttura su via del Purgatorio (considerando l'intero traffico veicolare presente) alla soluzione VII.

#### 2.3.2.4 Creazione di aree del connettivo urbano[S4]

Connessa all'analisi del territorio ed in particolare a quanto indicato nell'indicatore precedente, ovvero la connessione dei fronti urbani, è l'analisi degli spazi recuperati. Tale analisi pone infatti le basi sulle stesse analisi territoriali effettuate per l'indicatore precedente, analizzando tuttavia le possibilità che le diverse alternative offrono al territorio in termini di spazi recuperati,

indipendentemente dallo sviluppo futuro (o per meglio dire dell'uso che se ne vorrà fare), ma valutando in maniera quantitativa l'entità di tale possibilità.

In particolare, appare evidente che nel caso dell'indicatore in esame, ovvero gli spazi recuperati, il valore dell'indicatore può assumere valenze completamente differenti in funzione dell'uso che se ne farà del territorio stesso.

Ad esempio il valore che potrebbe costituire tale area se fosse adibita a verde potrebbe essere diverso dal valore della stessa area venisse adibita a servizi o ad altro uso. In questa sede tuttavia, essendo complesso valutare i possibili usi, e non essendo questo il fine ultimo dell'analisi, si è scelto di svincolarsi da tale problematica, considerando solamente l'entità del recupero, ovvero l'area restituita alla collettività.

E' evidente come la problematica degli spazi recuperati, sia molto sentita soprattutto in ambito urbano, dove, l'espansione territoriale e la sempre maggiore antropizzazione del territorio, fanno sì che tali spazi rappresentino una risorsa rara, e a volte indispensabile per il miglioramento della qualità della vita.

E' dunque di fondamentale importanza tenere in considerazione quei progetti che, non solo promuovono la "ricucitura" territoriale, trasformando l'infrastruttura da barriera impermeabile a permeabile, ma soprattutto quelle soluzioni che permettono un riutilizzo di aree precedentemente occupate dall'infrastruttura stessa.

In questo modo il progetto perseguirà una duplice finalità, da un lato si avrà un aumento della mobilità, con conseguenti miglioramenti per la collettività in termini di riduzione di tempi persi, di miglioramento dei livelli di servizio e più in generale dal miglioramento di molte caratteristiche di carattere socio-economico generalmente connesso all'aumento della mobilità, e dall'altro perseguirà l'obiettivo di riqualificazione del territorio, restituendo alle stesse aree che precedentemente erano intercluse o occupate, permettendone un possibile riuso e fornendo nuove opportunità di crescita economica e o sociale alla collettività stessa.

Per poter contabilizzare l'indicatore così come previsto dalla metodologia, occorre valutare come "il minimo impatto" la soluzione che permette il maggior riuso di territorio, ovvero il progetto che presenta un'occupazione di suolo minore rispetto agli altri.

In altri termini, pur restando fisso lo schema concettuale espresso in precedenza, al fine di poter calcolare il costo economico e al fine di poter definire la maschera dei minimi, è necessario effettuare un "capovolgimento" dell'indicatore, considerando non le aree messe a disposizione (indicatore per il quale la soluzione con il minimo impatto sarebbe stata quella con il valore minimo di aree messe a disposizione, ovvero l'esatto contrario rispetto a quanto espresso

precedentemente) bensì le aree occupate al netto delle aree riutilizzabili o comunque rese accessibili alla collettività.

In questo modo le soluzioni che prevedono una maggiore occupazione di suolo, ovvero nessuna area recuperata, riporteranno un valore dell'indicatore molto elevato, viceversa le soluzioni più "virtuose" dal punto di vista riporteranno un valore dell'indicatore molto basso, in coerenza a quanto espresso nella metodologia adotta per la scelta delle alternative. Pertanto le aree occupate sono state considerate partendo da quelle che sono le invarianti del progetto, ovvero la parte iniziale e finale di tutte le alternative, che essendo per l'appunto "invarianti" tra le alternative non influiscono nel calcolo delle aree messe a disposizione.

Spiegata la logica dell'indicatore e il metodo con cui è stato calcolato occorre fare qualche considerazione conclusiva sulle alternative in esame. In particolare, le alternative meno performanti risultano essere la soluzione I e la soluzione II, ovvero la realizzazione di una soluzione in rilevato, che non prevede la possibilità recuperare spazi urbani, così come la soluzione VII ovvero la soluzione a raso, che anch'essa non prevede la realizzazione di aree recuperate dal sedime infrastrutturale da restituire alla collettività.

Per quanto riguarda le due alternative che prevedono il passaggio in "piloti" queste risultano invarianti per l'indicatore in esame e permettono di recuperare l'area al disotto del piano stradale nel tratto in cui questo passa in sopraelevazione.

In ultimo, le alternative che presentano la minore interferenza sono la soluzione V e VI, ovvero la soluzione parzialmente e totalmente interrata, che nell'area in esame risultano pressoché equivalenti. In questo caso l'area recuperabile risulta maggiore delle due soluzioni precedenti e pari circa a 7600 mq.

Le aree occupate da ogni soluzione sono sinteticamente riportate nel grafico sottostante:

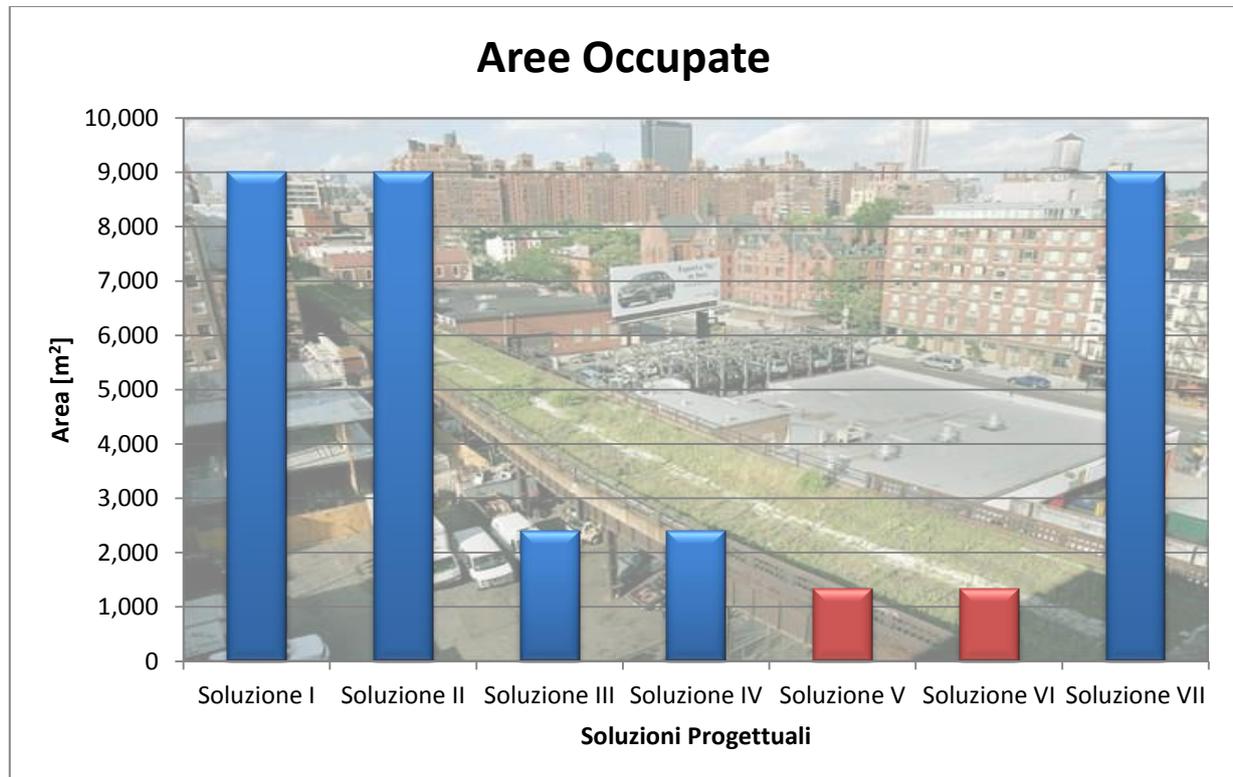


Figura 2-13 Indicatore S4 Spazi recuperati

#### 2.3.2.5 Interferenza con i sottoservizi [S5]

Ulteriore attenzione deve essere posta nell'interferenza con i sottoservizi. Essendo l'ambito dell'analisi un territorio urbano, la presenza dei sottoservizi è molto rilevante e rappresenta un problema di primaria importanza.

Nel caso in cui, tali elementi non vengano presi in debita considerazione, si possono determinare notevoli disagi alla popolazione residente nell'area limitrofa all'intervento, o in casi peggiori, i disagi possono interessare interi quartieri cittadini.

Nella presente relazione si vuole porre attenzione su di una determinata categoria di sottoservizi, ovvero le fognature, che per la loro natura e la loro importanza rappresentano un elemento chiave nella rete dei sottoservizi e che, in caso di malfunzionamento o interruzione può causare notevoli problematiche con risvolti sia sociali, sia ambientali (data la natura e l'altezza della falda non è da sottovalutare il pericolo di sversamento di sostanze altamente inquinate all'interno della falda stessa).

In particolare la fognatura presente è di tipo "misto" ovvero raccoglie sia le acque chiare sia le acque scure, avendo così la necessità di smaltire portate decisamente più grandi delle fogne unitarie, ma avendo il vantaggio di dover realizzare un unico manufatto.

La soluzione attuale della rete fognaria nell'area di intervento è sinteticamente riportata in figura.

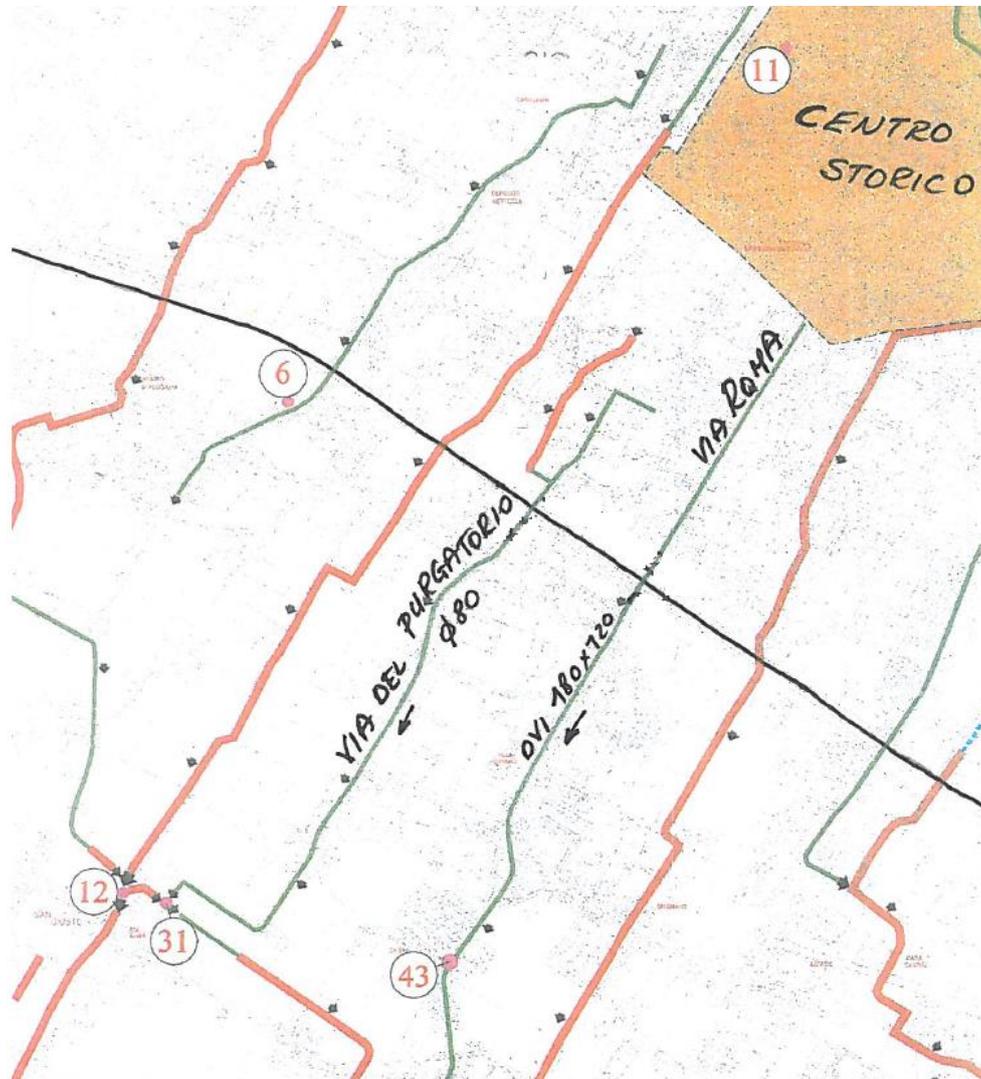


Figura 2-14 Schema Fognario di Prato in prossimità dell'area di intervento

Come si nota sono presenti due fognature che attualmente attraversano la declassata, la prima in prossimità di via Roma ha una sezione ovoidale con dimensioni 180x120 cm, la seconda in corrispondenza di via del Purgatorio con sezione circolare  $\Phi$  80cm.

Le soluzioni che interferiscono con tale configurazione sono le soluzioni che prevedono l'interramento della declassata nei punti in esame sono la soluzione V, VI e VII.

In particolare le soluzioni V e VI interferiscono in due punti, ovvero in via Roma e in via del Purgatorio, mentre la soluzione VII interferisce unicamente in via Roma.

Coerentemente agli altri indicatori l'interferenza è sinteticamente riportata nel grafico sottostante.



Figura 2-15 Indicatore S5 interferenza con i sottoservizi

### 2.3.3 Indicatori Ambientali

#### 2.3.3.1 Produzione di CO<sub>2</sub> [A1]

Nel Par. 2.3.2.2 è stato illustrato come la realizzazione dell'infrastruttura produca delle interferenze al traffico veicolare in fase di cantierizzazione che si tramutano in un incremento di consumi di carburanti. Oltre al Costo Sociale occorre calcolare il Costo Ambientale a cui è direttamente collegato.

Come ben noto, infatti, il biossido di carbonio è il risultato della combustione di un composto organico (nel nostro caso il carburante) in presenza di ossigeno sufficiente a completarne l'ossidazione, ed è tra i principali responsabili dell'effetto serra. Un incremento di consumi, pertanto, si tramuta in un aumento della produzione di CO<sub>2</sub>, e in un aumento del "Global Warming" che deve essere bilanciato attraverso dei processi di mitigazione ambientale (processi che verranno approfonditi nei paragrafi successivi).

Partendo dalle ipotesi effettuate nel suddetto paragrafo è possibile stimare la produzione di CO<sub>2</sub> dovuta all'intervento. Considerando una produzione di CO<sub>2</sub> pari a 1,8 Kg per ogni litro di carburante si può determinarne la produzione giornaliera per ogni alternativa progettuale.

Pertanto considerando i dati dei consumi di carburante per ogni alternativa la produzione di CO<sub>2</sub> è riassunta nella tabella e nel grafico sottostante.

| Soluzione     | Consumi Carburante [l] | Produzione di CO <sub>2</sub> [kg] |
|---------------|------------------------|------------------------------------|
| Soluzione I   | 6.911.800              | 12.441.240                         |
| Soluzione II  | 6.911.800              | 12.441.240                         |
| Soluzione III | 12.617.400             | 22.711.320                         |
| Soluzione IV  | 6.911.800              | 12.441.240                         |
| Soluzione V   | 5.924.400              | 10.663.920                         |
| Soluzione VI  | 5.924.400              | 10.663.920                         |
| Soluzione VII | 9.463.050              | 17.033.490                         |

Tabella 2-3 Produzione di CO<sub>2</sub> per ogni alternativa progettuale

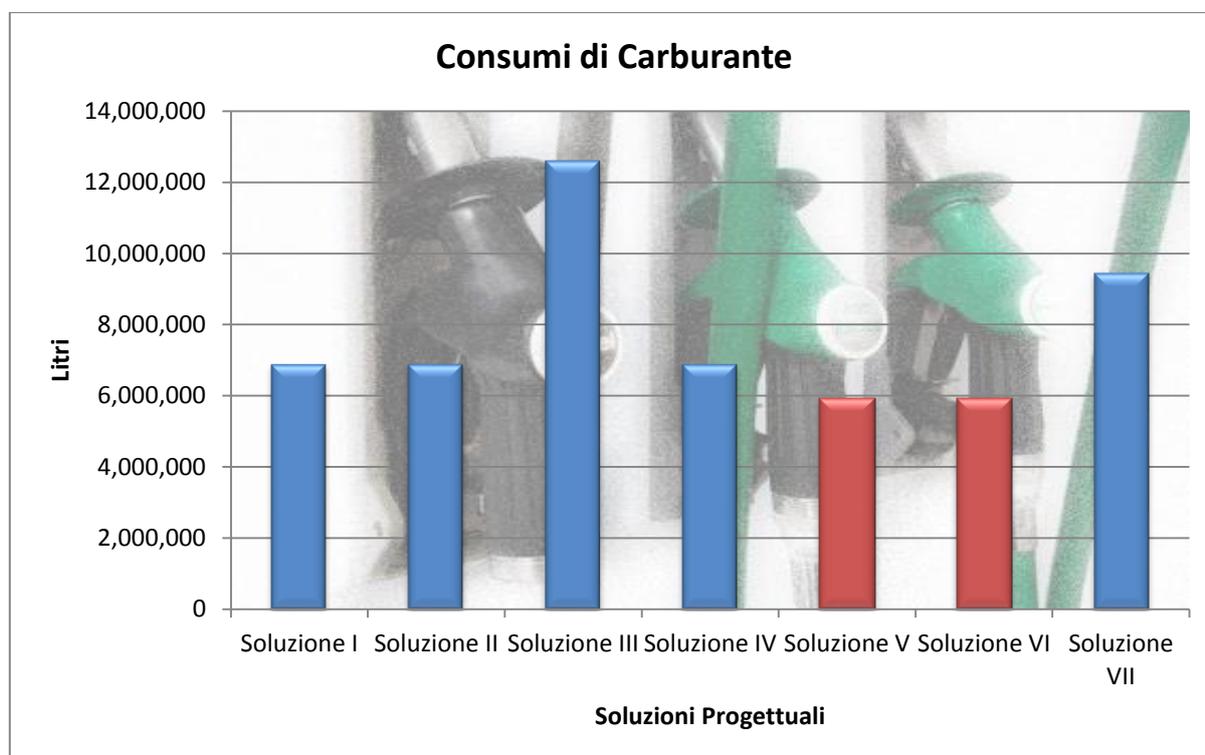


Figura 2-16 Indicatore A1 Produzione di CO<sub>2</sub> Giornaliera

Coerentemente alle analisi svolte nel paragrafo 2.3.2.2 anche in questo caso le soluzioni che migliori sono la V, la VII e la VII.

### 2.3.3.2 Approvvigionamento di materiali pregiati [A2]

La realizzazione del tracciato stradale in esame, comporta l'utilizzo di terre per la costruzione dei rilevati e l'approvvigionamento di inerti pregiati per la produzione di calcestruzzo necessari alla fabbricazione delle opere d'arte. Entrambe le attività richiedono lo sfruttamento di cave di prestito, con conseguente consumo di risorse non rinnovabili e relativi costi in termini ambientali. Ai fini della minimizzazione degli impatti, la soluzione da privilegiare è quella che, da un lato, ne consenta il minor uso e, dall'altro, permetta il minor conferimento a discarica (massimo riutilizzo) del materiale non rinnovabile presente *in situ*.

L'indicatore in esame, prende pertanto in considerazione il primo aspetto, ovvero privilegiare l'alternativa che necessiti del minor uso di terre ed inerti pregiati.

Come sintetizzato nella scheda all'inizio del presente paragrafo, sono stati presi in considerazione due componenti:

- I volumi di terre necessari alla costruzione dei rilevati;
- I volumi di inerti pregiati necessari alla realizzazione delle opere d'arte.

Dall'esame del profilo longitudinale delle alternative di progetto, si sono desunte le tipologie d'opera necessarie alla realizzazione del tracciato stradale e le relative dimensioni, permettendo, per ciascuna soluzione, la stima di massima dei quantitativi di materiali pregiati occorrenti, fra terre per la costruzione dei rilevati e inerti per la produzione di CLS.

I risultati sono sinteticamente riportati nel grafico sottostante.

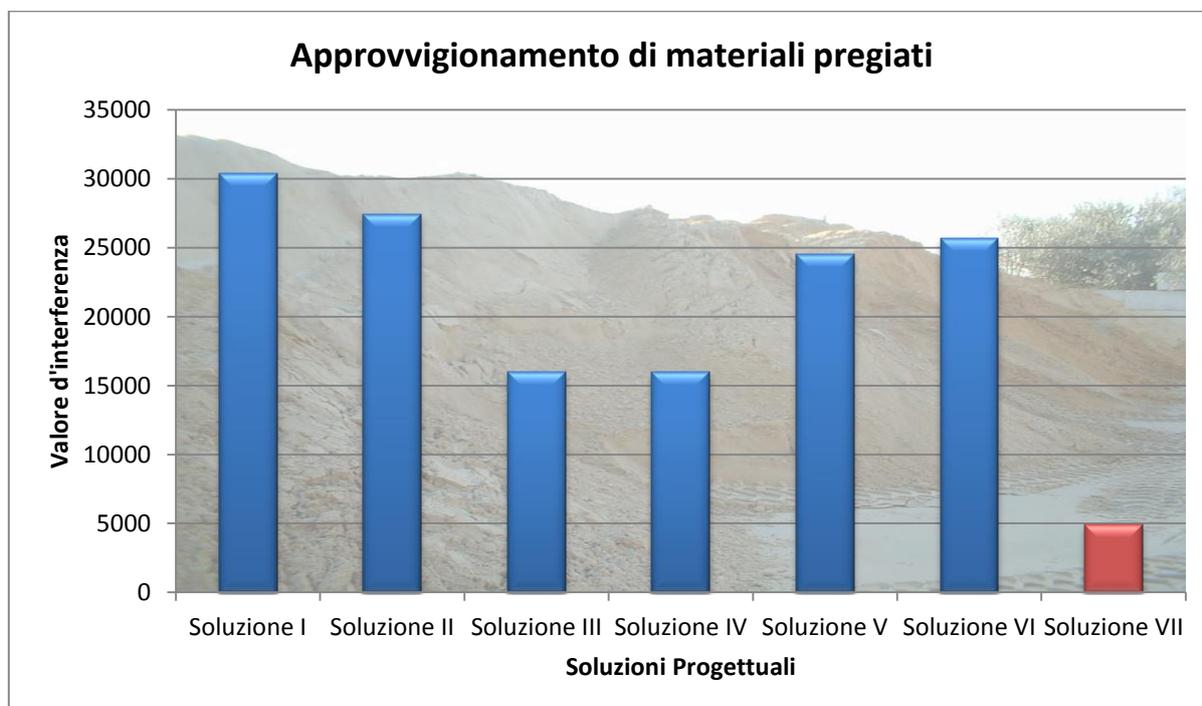


Figura 2-17 Indicatore A1 Consumo di inerti pregiati e cls

Nel caso dell'Indicatore A2 "Approvvigionamento di materiali pregiati" l'alternativa per la quale ci si attende il minore consumo di risorse non rinnovabili è la soluzione 7, non prevedendo la necessità di terre per i rilevati ed essendo limitati i quantitativi di inerti necessari alla realizzazione delle opere d'arte.

#### *2.3.3.3 Conferimento di materiale a discarica [A3]*

Come già espresso nell'indicatore precedente, il conferimento di materiale a discarica rappresenta il secondo indicatore del consumo di risorse non rinnovabili. Tale indicatore definisce, infatti, l'impatto dovuto allo smaltimento dei materiali di risulta dalle demolizioni della precedente sede stradale e dagli sbancamenti necessari alla realizzazione delle diverse alternative. Tali residui di lavorazione rappresentano, da un lato, un ulteriore consumo di risorse non rinnovabili, dall'altro, la necessità dell'individuazione di siti in cui poterli smaltire e il loro trasporto rappresentano un ulteriore impatto dal punto di vista ambientale.

L'indicatore in esame, intende pertanto privilegiare l'alternativa che necessiti del minor ricorso al conferimento in discarica. Come sintetizzato nella scheda all'inizio del presente paragrafo, l'indicatore secondario definisce il potenziale parziale riutilizzo dei materiali di risulta all'interno dell'opera, in alternativa allo smaltimento in discarica.

Dall'esame del profilo longitudinale delle alternative di progetto, si sono desunte le tipologie d'opera necessarie alla realizzazione del tracciato stradale e le relative dimensioni, permettendo, per ciascuna soluzione, la stima di massima dei quantitativi di materiali scavati o demoliti in ogni alternativa progettuale differenziati, in peso, fra la possibilità o impossibilità al loro riutilizzo. I risultati sono sinteticamente riportati nel grafico sottostante.



Figura 2-18 Indicatore A2 Conferimento di materiale a discarica

In questo caso gli indicatori che presentano un valore finale dell'indicatore pressoché nullo sono la soluzione I e la soluzione II.

#### 2.3.3.4 Presenza di elementi infrastrutturali in elevazione [A4]

Questo indicatore si pone l'obiettivo di verificare l'occupazione spaziale delle opere in elevazione. Alcune opere stradali, per le loro caratteristiche geometriche, costituiscono un vincolo visivo, non garantendo una "permeabilità visiva" del paesaggio. Nonostante l'opera non vada ad inserirsi in territori ad elevato pregio paesistico, è comunque opportuno valutare l'impatto dell'opera stessa sotto questo profilo al fine di garantire il più ampio spettro di indagini sotto il profilo ambientale. Il riferimento principale di tale indicatore è rappresentato dallo studio del profilo longitudinale delle alternative di progetto. Attraverso questo strumento si possono determinare i tratti dell'infrastruttura con un'altezza tale da conferire interferenza rispetto alla percezione visiva del paesaggio circostante.

Pertanto si può fare riferimento al tipo di occlusione apportata dall'opera considerando "impermeabile" le soluzioni che forniscono un'interferenza costante lungo la loro lunghezza e che, ponendosi dal punto di vista di un osservatore ideale, non permettono costantemente la visualizzazione del fronte contrapposto. Per quanto riguarda la condizione "parzialmente permeabile" possono essere considerate tali, quelle opere che forniscono un'interferenza visiva rispetto al campo d'osservazione, ma tale interferenza non è costante lungo lo sviluppo della

soluzione stessa. Nel caso in esame, ad esempio, le pile del ponte costituiscono un'interferenza che non è costante nello spazio, permettendo una visione parziale del fronte contrapposto. Allo stesso modo anche la soluzione a raso, con la presenza del traffico veicolare, rappresenta un fronte semi permeabile, in quanto, in tal caso, la visibilità non è costante nel tempo.

Le opere in sotterraneo, che permettono una permeabilità costante, sia nello spazio che nel tempo, sono considerate quali "permeabili".

Per avere una stima dell'interferenza sopradescritta, ovvero del rapporto alternativa progettuale-territorio si è fatto riferimento ai metri lineari di infrastruttura che apportano un'interferenza con il fronte urbano su cui, l'infrastruttura stessa, insiste.

In altre parole si considera l'interferenza visiva che le abitazioni o gli altri tipi di edifici potrebbero avere a causa della soluzione progettuale. Pertanto, sono stati considerati come "relazionanti" solamente gli edifici frontisti rispetto all'infrastruttura e non quelli presenti nell'area di studio, poiché, da un punto di vista puramente "visivo", ovvero della visuale percepita dall'interno dell'edificio, non subirebbero sostanziali cambiamenti.

Gli edifici presi in considerazione sono gli stessi utilizzati per l'analisi dell'indicatore S4.

Infine, coerentemente, a quanto detto sopra, sono stati differenziati i tratti di infrastruttura aventi una condizione di "permeabilità pura" quali la trincea o i tratti in galleria, dai tratti "parzialmente permeabili" ovvero quelli in cui la visibilità, a causa di ostacoli (siano essi permanenti o mobili), risulta parzialmente occlusa ed i tratti "impermeabili".

Il valore d'interferenza è stato quindi calcolato come i metri lineari permeabili ed i metri lineari semi permeabili per ogni soluzione.

Tale analisi è sinteticamente riportata nell'istogramma sottostante.

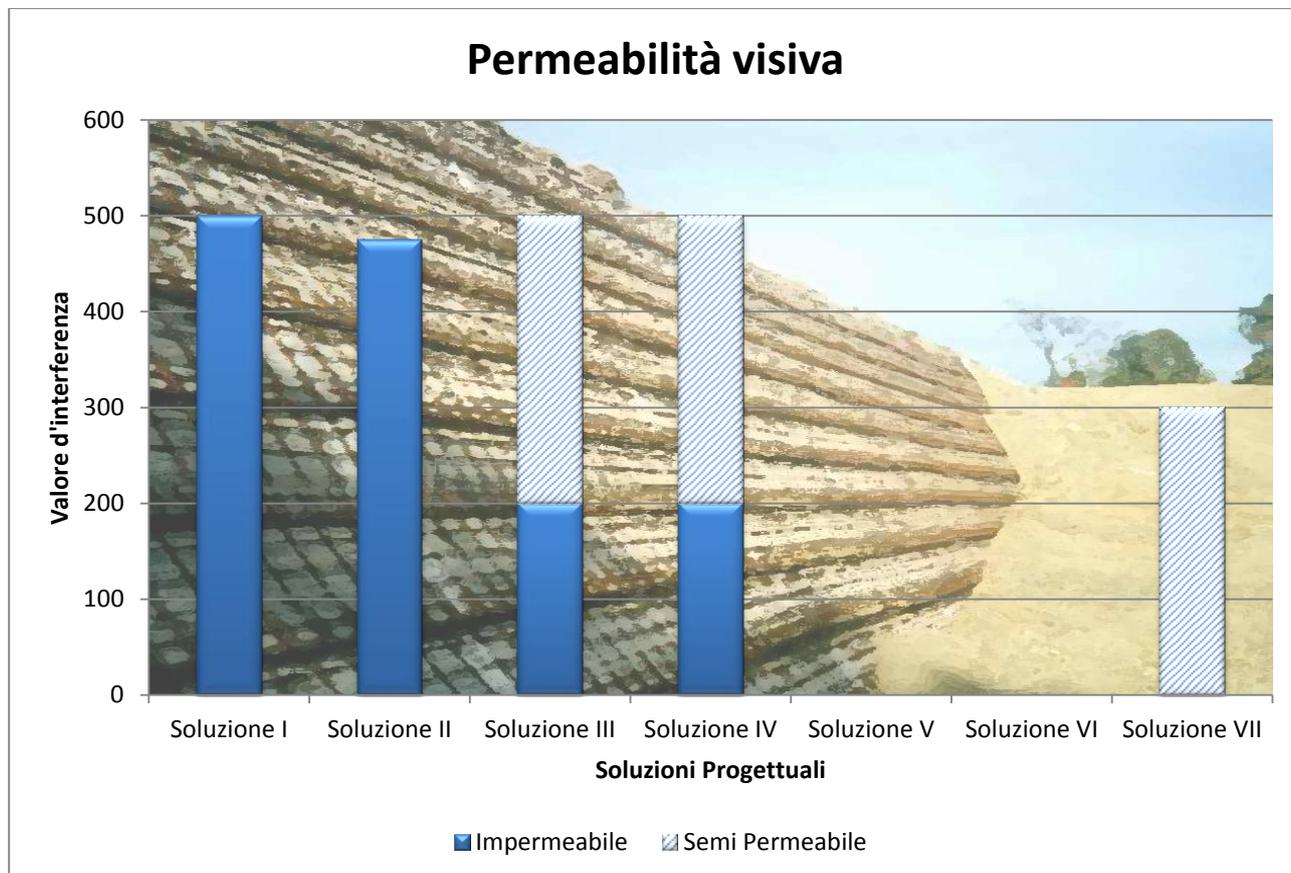


Figura 2-19 Calcolo della permeabilità visiva per le diverse alternative

In questo caso, le alternative con minore impatto sono la V e la VI che non prevedono opere in elevazione e pertanto non costituiscono interferenze alla componente in esame. La soluzione VII presenta un'interferenza parziale, con un fronte semipermeabile nel tratto centrale del progetto. Le soluzioni III e IV presentano una parte impermeabile, nel tratto iniziale, ovvero in prossimità dei cosiddetti rilevati d'appoggio all'opera d'arte, e un fronte semipermeabile in corrispondenza del "pilotti". In ultimo, le soluzioni peggiori sotto il profilo della componente analizzata sono la I e la II che presentano un fronte pressoché costante di tipo impermeabile, con l'eccezione dei soli sottopassi.

#### 2.3.3.5 Compromissione della risorsa idrica [A5]

Ai fini della minimizzazione della compromissione della risorsa idrica, la soluzione progettuale da privilegiare è quella che, in termini potenziali, può indurre il minor rischio di inquinamento. Da un punto di vista della vulnerabilità della falda, infatti, eventuali inquinanti sversati in superficie possono raggiungere le acque sotterranee, per infiltrazione attraverso il terreno: il grado di vulnerabilità è quindi legato al diverso grado di permeabilità del terreno stesso. A parità di caratteristiche di permeabilità dei terreni alla propagazione di eventuali inquinanti, l'estensione dell'impronta a terra degli elementi infrastrutturali dell'opera in esame e la profondità di scavo

necessaria alla loro realizzazione rappresentano pertanto il discrimine in termini di potenziale impatto inquinante sulla risorsa idrica sotterranea.

Nel caso in esame, essendo presente in situ un falda compresa tra i 20 e 10 metri dal piano campagna, la profondità di scavo indica la discriminante principale rispetto all'interferenza principale. Pertanto l'indicatore si pone l'obiettivo di valutare i metri lineari in cui sussistono profondità di scavo che interferiscono con i livelli di falda.

Dall'esame del profilo longitudinale delle alternative di progetto, si sono desunte le tipologie d'opera necessarie alla realizzazione del tracciato stradale e le relative dimensioni, permettendo, per ciascuna soluzione, la stima di massima delle superfici di terreno potenzialmente interessate dalla possibile propagazione di inquinanti. I risultati sono sinteticamente riportati nel grafico sottostante.

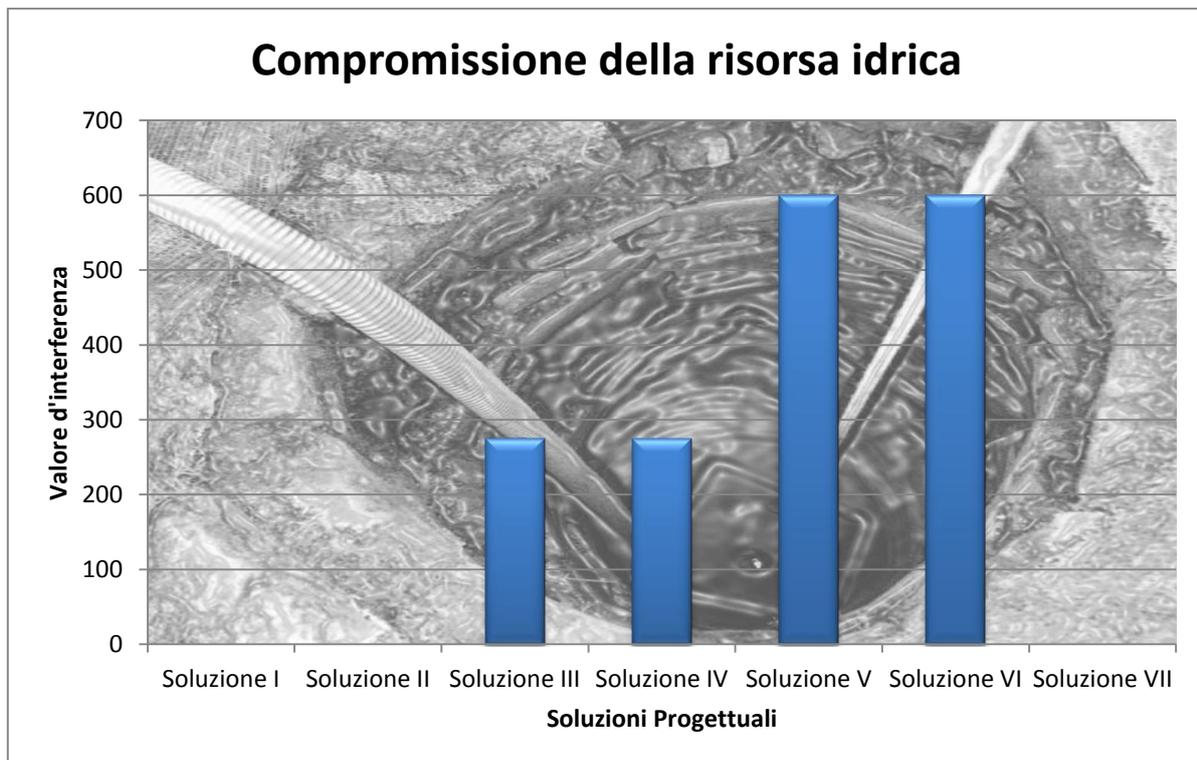


Figura 2-20 Compromissione della risorsa idrica

In questo caso le soluzioni interferenti con la falda, ovvero che prevedono opere d'arte tali da interferire con i livelli della falda, sono la soluzione III, IV, V e VI. In questo caso infatti, la realizzazione dei pali di fondazione delle pile del ponte hanno una dimensione di circa 20 metri, andando perciò ad interessare profondità in cui è sicuramente presente la falda superficiale per la lunghezza del tratto compreso tra via Roma e via del Purgatorio.

Per quanto riguarda le soluzioni V e VI queste interessano la falda per un tratto decisamente più lungo rispetto alle soluzioni precedenti determinando un maggior livello di interferenza.

Le altre alternative invece si attestano a profondità minori nell'ordine di uno o due metri per quanto riguarda i muri di contenimento del rilevato.

#### *2.3.3.6 Inquinamento acustico [A6]*

Elemento di particolare rilievo, tra gli indicatori ambientali, è rappresentato dall'inquinamento acustico. Tale indicatore presenta un duplice vantaggio, da un lato infatti i moderni sistemi di simulazione permettono una quantificazione realistica ed affidabile degli stati futuri, dall'altro, essendo quantificato numericamente, risulta è svincolato da caratteri di soggettività, inserendosi in maniera coerente all'interno della metodologia sviluppata per la scelta delle alternative.

Nel caso in esame, le diverse soluzioni progettuali, essendo riconducibili a varianti altimetriche, ben si prestano ad un'analisi di tipo acustico. Infatti le diverse soluzioni presentano configurazioni essenzialmente diverse tra loro dal punto di vista acustico. Come è facile immaginare, le varianti altimetriche hanno risultati ben diversi in termini di inquinamento acustico trasferito al territorio. Le parti in galleria, risulteranno meno impattanti nei tratti coperti, grazie all'azione fonoassorbente delle pareti. Anche i tratti in trincea, se pur in maniera minore, risulteranno meno impattanti grazie anche in questo caso all'azione di assorbimento fornito dalle pareti della trincea e dalla diversa distanza che intercorre tra la sorgente e i ricettori.

Proprio in quest'ottica la soluzione più critica è rappresentata dal ponte e dal rilevato, soluzioni per le quali la distanza tra i ricettori e le sorgenti è sicuramente minore e presenta caratteristiche di "campo libero" non subendo processi di attenuazione.

La metodologia di analisi svolta per il calcolo e la quantificazione dell'indicatore si è articolata nei seguenti passi:

- Realizzazione delle diverse alternative con software di simulazione (CadnaA);
- Implementazione delle caratteristiche del traffico in termini di volumi e velocità di percorrenza;
- Analisi delle aree risultanti sopra i 65 dB(A);

Entrando nello specifico della metodologia, le diverse alternative hanno prodotto curve isofoniche differenti. Studiando le aree delle isofoniche è possibile avere una stima dell'inquinamento acustico che si trasferisce sul territorio a seguito della realizzazione del progetto. In questo modo è possibile valutare, non solo l'interferenza con i singoli ricettori, ma più in generale l'interferenza con il territorio, valutando in maniera completa gli effetti di tutte le alternative.

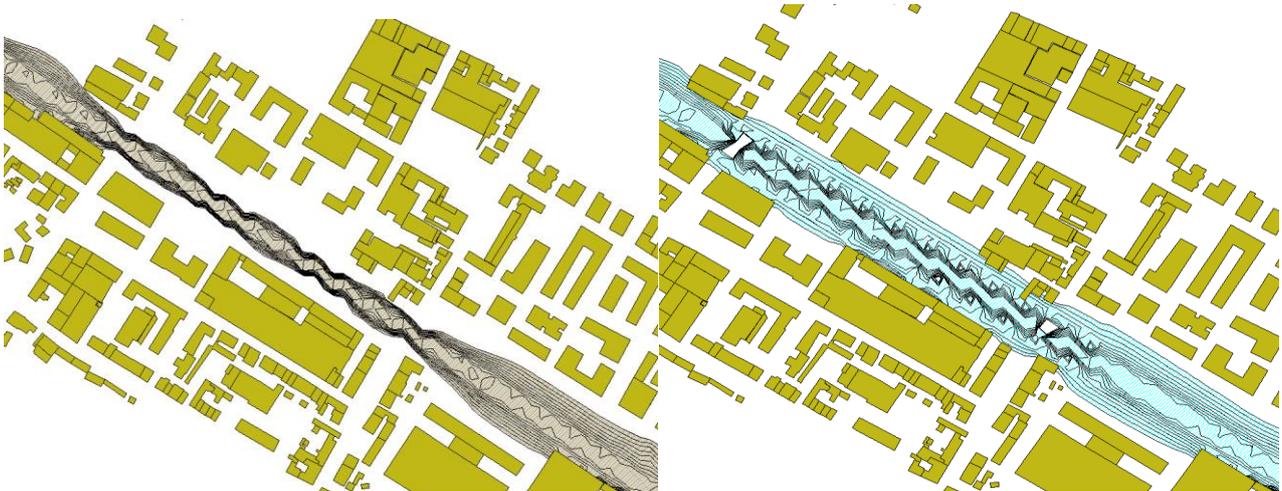


Figura 2-21 Esempio di simulazione di curve con Leq maggiore di 65 dB(A) nel caso in trincea e in rilevato

Per quanto riguarda il valore di riferimento delle curve isofoniche è stato preso il valore del limite di immissione definito dalla zonizzazione acustica comunale per l'area in esame, ovvero 65 dB(A). Le aree al di sopra di tale soglia rappresentano pertanto l'interferenza tra il progetto e il territorio. I valori calcolati per ogni alternativa sono sinteticamente riportati nel grafico sottostante:

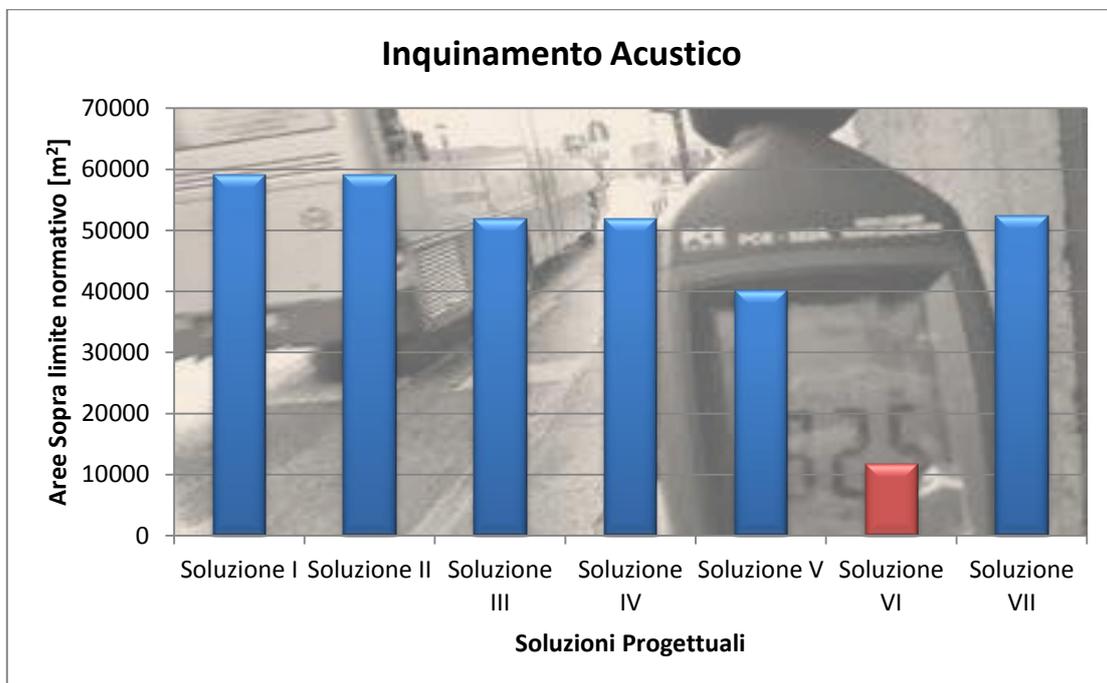


Figura 2-22 Esposizione superficiale all'inquinamento acustico

Come si può notare, e coerentemente a quanto sopra espresso, la soluzione migliore dal punto di vista acustico è rappresentata dalla soluzione completamente interrata, ovvero la soluzione VI per le altre soluzioni sono pressoché assimilabili e le differenze, in termini di aree interferite sono modeste.

### 2.3.3.7 Emissioni in Aria [A7]

L'ultimo indicatore del settore ambiente è rappresentato dalle emissioni di inquinanti in aria a seguito della circolazione del traffico sull'infrastruttura.

Lo studio dell'indicatore, pur partendo dal concetto di emissioni, si focalizza sul calcolo delle concentrazioni.

Le differenti soluzioni progettuali, infatti, rappresentando unicamente delle varianti altimetriche locali, e lasciando invariati sia i flussi sia i livelli di servizio, presentato dei quantitativi di emissioni totali nel tratto in esame, del tutto comparabili.

Analizzando il tema delle concentrazioni, invece, le diverse alternative non presentano questa caratteristica di invarianza, e pertanto possono portare a risultati sostanzialmente diversi in termini di inquinamento ambientale.

In linea generale infatti, a parità di flussi e modalità di deflusso, le diverse configurazioni possono portare a livelli di concentrazione e a modalità di distribuzione degli inquinanti molto differenti. A titolo di esempio si prendano in considerazione i diversi effetti che si possono verificare in funzione delle diverse configurazioni stradali: nel caso di una galleria le concentrazioni degli inquinanti saranno maggiori agli imbocchi in quanto sono le uniche vie di uscita degli inquinanti stessi, nel caso di un ponte, invece, gli inquinanti vengono dispersi a quote più elevate rispetto al suolo, raggiungendolo tanto più diluiti tanto più la quota di emissione è alta, un'ulteriore configurazione che si può verificare è il cosiddetto effetto "canyon" che è essenzialmente legato alle perturbazioni indotte dagli edifici sul vento medio, con la formazione di vortici, ricircoli, stagnazioni. Tale fenomeno dipende dalla presenza di alcune variabili fondamentali che sono legate essenzialmente alla geometria al contorno della strada, ovvero alla posizione relativa tra gli edifici e l'altezza di quest'ultimi. Tali fattori permettono di generare diversi regimi fluidodinamici tali da portare a differenti concentrazioni degli inquinanti al suolo.

Come effettuato per l'analisi precedente, anche in questo caso si è fatto riferimento ad una soluzione areale per la scelta dell'alternativa, tuttavia, a differenza del caso precedente in cui il parametro di confronto era univoco, ovvero i decibel prodotti, in questo caso le tipologie di inquinamento atmosferico prodotte dal traffico stradale sono rappresentate da più inquinanti. Si è pertanto dovuta effettuare una scelta sulla tipologia di inquinante da analizzare, ed in particolare la scelta è ricaduta sul biossido di azoto, che generalmente rappresenta il maggior inquinante prodotto in tale ambito. Inoltre, al fine di eseguire la suddetta analisi areale, in coerenza a quanto fatto con l'indicatore precedente, si è dovuto fare riferimento ad un valore di soglia da prendere in considerazione, in analogia al limite di zonizzazione acustica preso per l'indicatore precedente. In questo caso però, la presenza della strada, non portava in nessun caso al superamento dei valori limite, pertanto si è scelto come valore di riferimento, un valore di emissione che potesse avere da

un lato un incremento minimo significativo della qualità dell'aria (è stato scelto come valore un incremento di almeno il 5% del valore di fondo) e dall'altro avere la caratteristica di essere presente in tutte le soluzioni progettuali, in modo tale da poter effettuare il confronto tra le alternative.

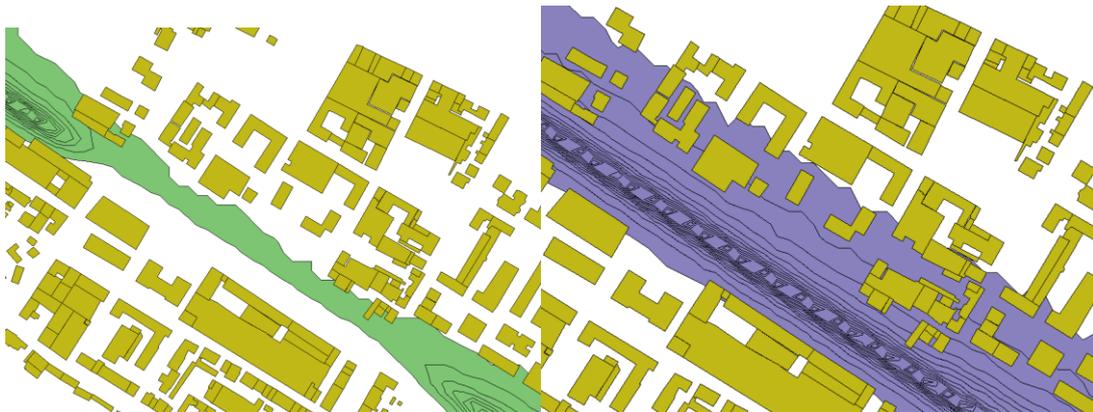


Figura 2-23 Esempio di calcolo di curve di isoconcentrazioni per soluzioni progettuali differenti

Pertanto, a termine di tale processo valutativo, sono state considerate le aree al di sopra degli 1,5 microgrammi al metro cubo. Il valore dell'analisi per le diverse soluzioni è sinteticamente riportato nel grafico sottostante:

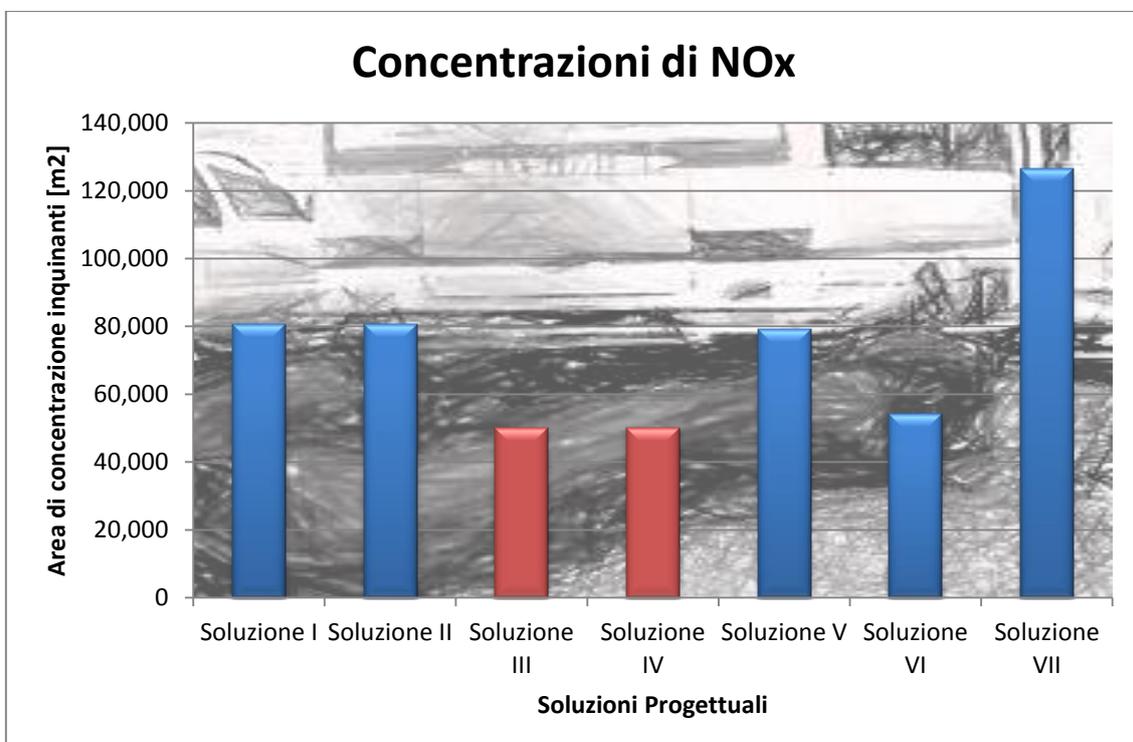


Figura 2-24 Esposizione superficiale alle concentrazioni di inquinanti

In questo caso, il ponte permette di raggiungere livelli di diluizione degli inquinanti maggiore che nelle altre soluzioni. Per quanto riguarda la soluzione completamente interrata, presenta valori simili a quelli del ponte, denotando una maggiore concentrazione in prossimità della piattaforma stradale, e di conseguenza una riduzione dell'area di interferenza. Le soluzioni in trincea aperta e in rilevato portano a valori simili e più alti delle due soluzioni precedenti per motivi essenzialmente differenti. Da un lato nella soluzione interrata, la presenza delle rampe di salita e discesa, vanificano parte dell'effetto canyon che si verificava nella soluzione completamente interrata, il rilevato invece, non permette lo stesso effetto di diluizione nel tratto centrale dell'intervento che invece è proprio della soluzione realizzata con il ponte. In ultimo la soluzione che data la sua configurazione geometrica risulta più critica sotto il profilo dell'indicatore in esame è l'alternativa a raso, ovvero la soluzione VII.

## **2.4 Calcolo dei costi degli indicatori**

### **2.4.1 Costi Economici**

Per quanto riguarda gli indicatori economici, essendo già conteggiati sotto forma di costi, non hanno bisogno di essere quantificati economicamente e rappresentano la base su cui sommare i costi di costruzione.

### **2.4.2 Costi Sociali**

#### *2.4.2.1 Modifica della circolazione in fase di cantierizzazione [S1]*

Il valore dei "perditempo", intesi come tempi persi dalla totalità degli utenti durante le operazioni di costruzione dell'opera, a causa della chiusura parziale o totale delle corsie di marcia, è stata ampiamente trattata ed analizzata all'interno del Par. 2.3.2.1. In questa fase, occorre stimare il valore economico che si trasferisce sugli utenti, e quindi sulla collettività, dalla realizzazione delle diverse soluzioni.

E' importante ricordare come il valore minimo per l'indicatore in esame è rappresentato dalle soluzioni VII. Il delta per riportare le altre soluzioni al valore minimo è riassunto nel grafico sottostante:

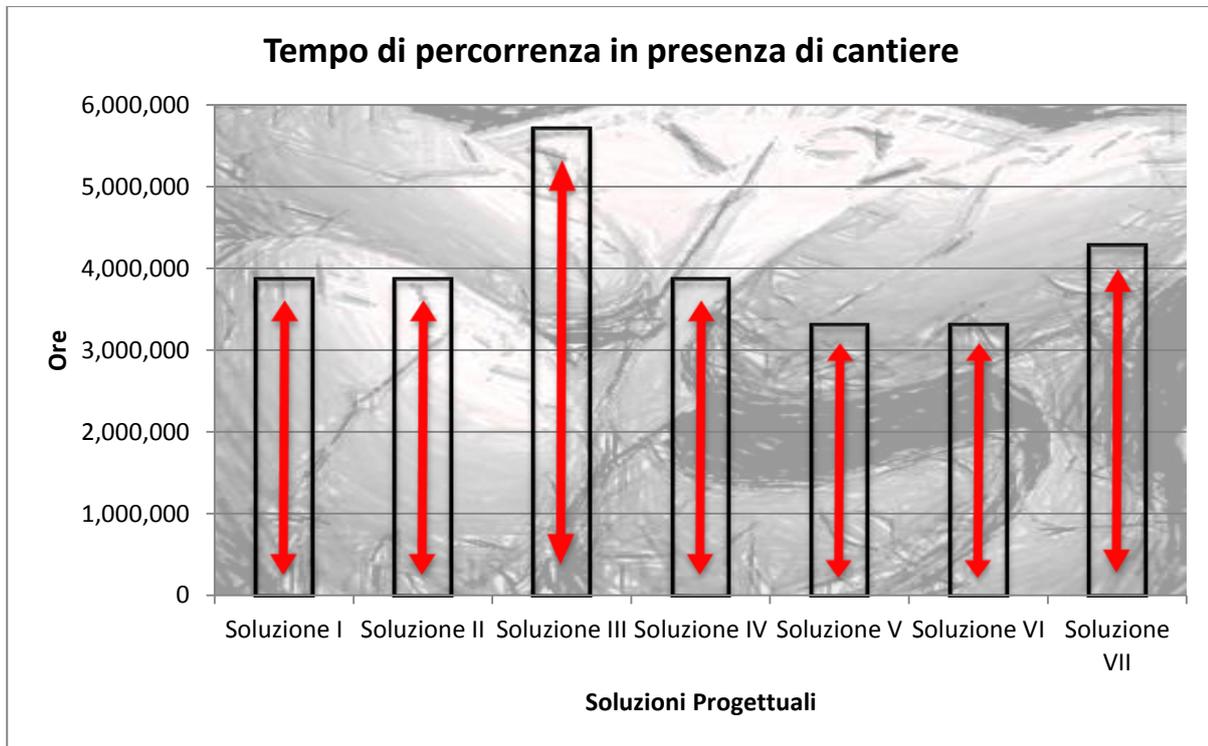


Figura 2-25 Delta ore di tempo perso in riferimento al valore minimo

In particolare, come già espresso nella parte teorica della metodologia, una volta definito il delta di interferenza con il valore della soluzione migliore dal punto di vista della componente in esame, si deve valutare il costo che occorre sostenere al fine di mitigare, ovvero compensare, le diverse alternative, in modo tale da riportarle tutte allo stesso livello di interferenza.

Nel caso in esame, essendo impossibile "mitigare" il tempo perso, perché l'unica alternativa possibile sarebbe scegliere una soluzione che non prevede la chiusura della carreggiata e pertanto scegliere un'altra alternativa, si fa riferimento allo strumento della "compensazione".

Come è ben noto nell'ambito dei trasporti, ma in molti altri campi in genere, è possibile quantificare un valore economico al tempo. In altre parole è possibile valutare il costo economico, che un utente è disposto a sostenere per non perdere tale tempo.

In questo senso è possibile dare una quantificazione della "compensazione teorica" che dovrebbe essere trasferita alla collettività.

E opportuno a questo punto fare un breve ma importante inciso e ribadire come, tali "mitigazioni" o "compensazioni", siano puramente teoriche, e pertanto non debbano essere intese come "realizzabili", ma semplicemente come strumento ad uso del valutatore, per poter riferire il modello ad un parametro economico prescindendo così, o comunque limitando al minimo, quel carattere di soggettività tipico delle analisi multicriteri.

Ritornando al tema centrale del paragrafo, ovvero il costo attribuito ai “tempi persi”, esistono molti modelli che in funzione di alcune variabili permettono di attribuire tale valore.

Come è facilmente intuibile, tale valore, varia da utente ad utente, in funzioni delle ragioni che muovono l’utente stesso a spostarsi. Differente può essere il valore che attribuisco al guadagno o alla perdita di tempo, infatti, se il mio spostamento è di natura commerciali, piuttosto che turistico, oppure se il mio spostamento è di breve, media o lunga percorrenza.

Per considerare tutte le differenti variabili è stato condotto uno studio che ha permesso di quantificare il costo sociale attribuibile al tempo impiegato per lo spostamento. Tale valore è stato stimato a circa 15 €/h.

A questo punto, definito il delta con la soluzione migliore, come visto all’inizio del presente paragrafo, e noto il valore economico per compensare tale delta e far sì che tutte le alternative possano ritenersi equivalenti sotto il profilo della componente in esame, è possibile definire il delta di costo da sommare ai costi economici per la definizione finale dell’alternativa migliore. Per un’analisi dettagliata dei valori economici si può fare riferimento alla tabella sottostante:

| <b>Soluzione</b> | <b>Delta tempo [h]</b> | <b>Costi economici [€]</b> |
|------------------|------------------------|----------------------------|
| Soluzione I      | 551.000                | 8.265.000                  |
| Soluzione II     | 551.000                | 8.265.000                  |
| Soluzione III    | 2.400.000              | 36.000.000                 |
| Soluzione IV     | 551.000                | 8.265.000                  |
| Soluzione V      | 0                      | 0                          |
| Soluzione VI     | 0                      | 0                          |
| Soluzione VII    | 973.500                | 14.602.500                 |

Tabella 2-4 Quantificazione economica del tempo perso

#### 2.4.2.2 Consumi di Carburante [S2]

Come visto nel paragrafo precedente e in coerenza a quanto descritto nella metodologia, anche per l’indicatore S2 “Consumi di Carburante” è stato valutato il delta economico necessario a rendere equivalenti, sotto il profilo dell’indicatore in esame, tutte le alternative.

Per quanto riguarda il valore minimo, utile alla definizione della cosiddetta “maschera dei minimi” che verrà poi presentata nella sua veste integrale nei paragrafi successivi, è stata effettuata la quantificazione numerica dell’indicatore nel Par. 2.3.2.2.

In tale paragrafo è emerso come, le soluzioni rappresentanti il minimo valore di interferenza dell’indicatore con il territorio sono la soluzione I, II e IV, ovvero le soluzioni che non prevedono la chiusura della declassata.

Il delta tra il valore minimo, rappresentato da tali soluzioni, e le altre è rappresentato nell'istogramma sottostante.

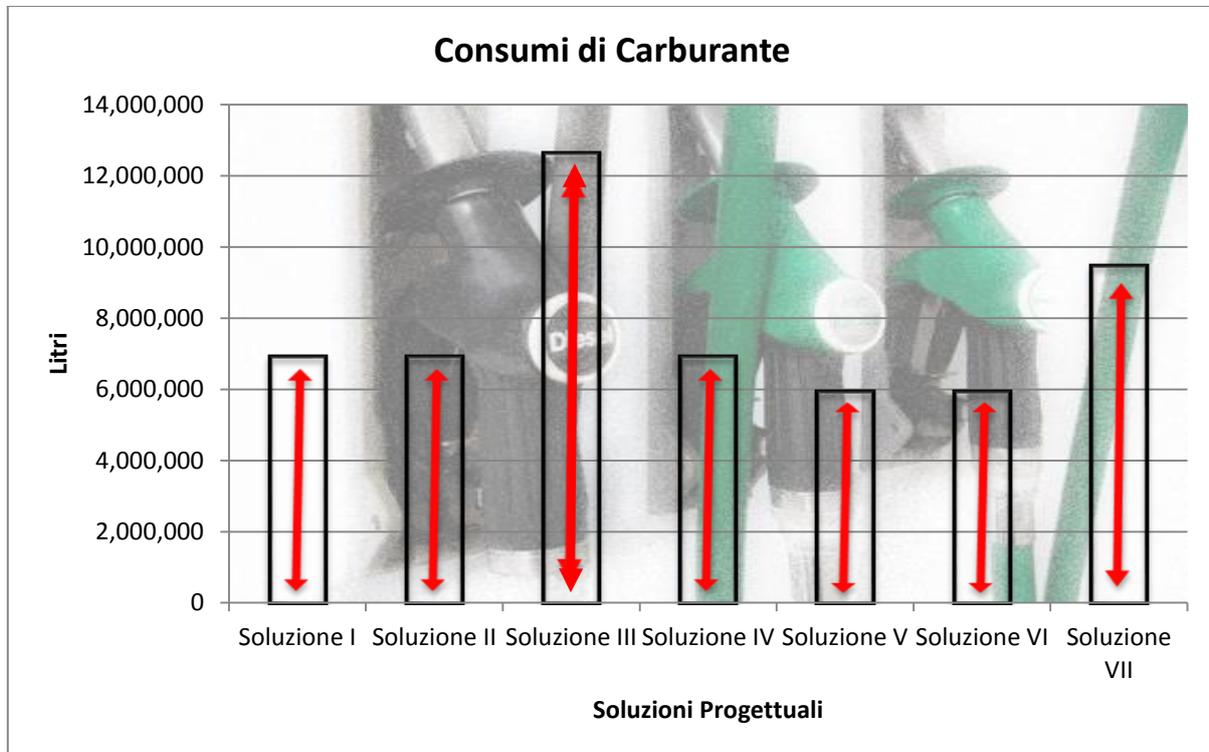


Figura 2-26 Delta litri di carburante utilizzato in riferimento al valore minimo

Da questo grafico si evince come, agli utenti che usufruiscono di Viale Leonardo da Vinci, verranno trasferiti effetti differenti in funzione della soluzione progettuale scelta. Tali effetti, per far sì che le alternative siano equivalenti, dovranno essere mitigati o in alternativa compensati, così come visto nel paragrafo precedente.

Anche in questo caso la mitigazione consisterebbe nella realizzazione di un'alternativa diversa da quella in esame, ovvero nella scelta di un'alternativa che non preveda la totale chiusura della declassata. Tuttavia così facendo si andrebbero nuovamente a sommare i costi delle altre alternative.

Così come fatto per la soluzione precedente, in questo caso, è più opportuno considerare il costo teorico di "compensazione" che si dovrebbe trasferire agli utenti al fine di pareggiare il surplus di spesa sostenuto in tutte le alternative tranne la V, VI

Si può assumere un valore medio di costo del carburante a 1,7€/l in modo tale da quantificare l'interferenza trasferita agli utenti in termini economici.

In particolare, considerando i litri di carburante visti nel grafico di Figura 2-26.

| <b>Soluzione</b> | <b>Delta litri [l]</b> | <b>Costi economici [€]</b> |
|------------------|------------------------|----------------------------|
| Soluzione I      | 987.400                | 1.678.580                  |
| Soluzione II     | 987.400                | 1.678.580                  |
| Soluzione III    | 6.693.000              | 11.378.100                 |
| Soluzione IV     | 987.400                | 1.678.580                  |
| Soluzione V      | 0                      | 0                          |
| Soluzione VI     | 0                      | 0                          |
| Soluzione VII    | 3.538.650              | 6.015.705                  |

Tabella 2-5 Quantificazione economica dei consumi di carburante

In questo modo è possibile ricavare il costo, per ogni alternativa, che andrà sommato ai costi di costruzione e manutenzione, utili alla definizione della scelta finale, che verrà esposta e ripresa nel paragrafo conclusivo del presente capitolo.

#### *2.4.2.3 Presenza di barriere infrastrutturali [S3]*

Nel paragrafo del calcolo della frammentazione urbana è stata valutata l'interferenza dell'infrastruttura con il contesto territoriale in cui si inserisce con particolare riferimento agli edifici frontisti. In particolare è stata valutata la permeabilità fisica del territorio, ovvero la possibilità dell'attraversamento pedonale della declassata.

Così come fatto per gli altri indicatori, occorre definire la differenza tra l'alternativa con la minore interferenza con il territorio, rispetto alle altre soluzioni.

Il delta di interferenza è sinteticamente riportato nel grafico sottostante:

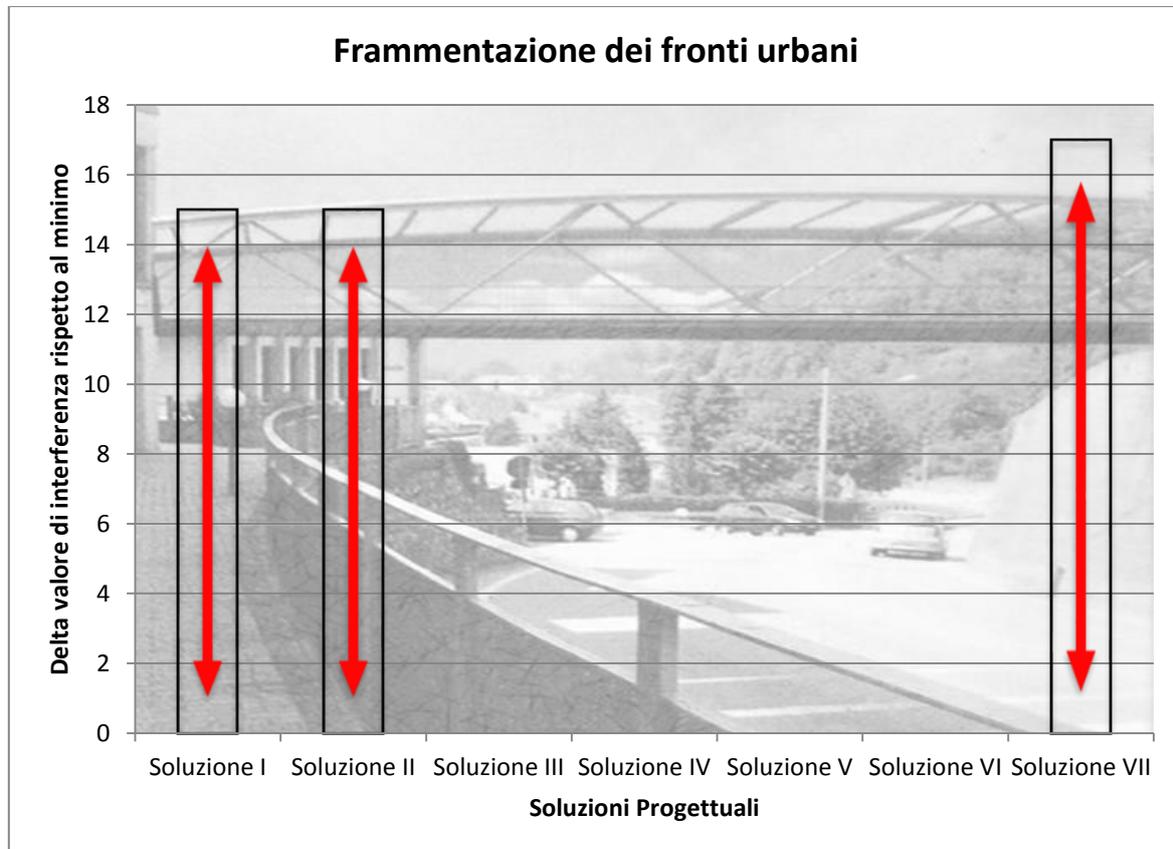


Figura 2-27 Calcolo dei livelli di interferenza rispetto al minimo

In questo caso, per definire una misura di mitigazione della permeabilità territoriale, si può definire il costo per ripristinare il collegamento tra i fronti separati dalla declassata. In altre parole, in via del tutto teorica, si può considerare la realizzazione di un sovrappasso o sottopasso pedonale a seconda delle diverse soluzioni analizzate.

A livello di calcolo, si è considerata la realizzazione di un collegamento pedonale per ogni blocco di edifici. È ragionevole pensare, infatti, che un collegamento pedonale possa "servire" un intero isolato, non considerando così un solo edificio, ma appunto "un blocco" di edifici serviti dal sovrappasso stesso. Inoltre, si deve tener conto degli edifici "contrapposti" ovvero le coppie di edifici che se pur posizionati in due lati opposti dell'infrastruttura, possono utilizzare lo stesso percorso.

A seguito di tali ipotesi, sono stati valutati i numeri di sottopassi o sovrappassi necessari alla riduzione dell'interferenza e, definendo un valore medio di opera pari a 350.000€, è stato possibile calcolare il valore del surplus di costo da attribuire ai diversi progetti

| <b>Soluzione</b> | <b>Opere di<br/>continuità [n]</b> | <b>Costi Economici<br/>[€]</b> |
|------------------|------------------------------------|--------------------------------|
| Soluzione I      | 7                                  | 2.450.000                      |
| Soluzione II     | 7                                  | 2.450.000                      |
| Soluzione III    | 0                                  | 0                              |
| Soluzione IV     | 0                                  | 0                              |
| Soluzione V      | 0                                  | 0                              |
| Soluzione VI     | 0                                  | 0                              |
| Soluzione VII    | 7                                  | 2.450.000                      |

Tabella 2-6 Opere di mitigazioni necessarie e relativi costi

Inoltre, come accennato nel paragrafo 2.3.2.3, riguardo alla soluzione VII, questa prevede la chiusura di via del Purgatorio, andando a diminuire ulteriormente la permeabilità, non solo pedonale ma anche veicolare, ed incrementando il gap di frammentazione urbana fornita dalla soluzione. Pertanto occorre valutare il deficit economico dovuto alla chiusura della strada.

Coerentemente a quanto visto per gli indicatori precedenti, al fine di valutare il danno sociale dovuto alla chiusura di via del Purgatorio, si può fare riferimento a due ordini di costi: il tempo perso da ogni utente nell'effettuare il percorso alternativo all'attraversamento, e i relativi consumi di carburante.

Per quanto riguarda il costo dei tempi persi si fa riferimento alle analisi viste nei paragrafi precedenti e considerando un tempo aggiuntivo circa pari a 2 minuti per l'attraversamento ed un traffico giornaliero medio presente sulla declassata pari 10.000 veicoli al giorno risulta un surplus di costo di circa 1.500.000 €/anno.

Allo stesso modo considerando i consumi di carburante visti nel paragrafo precedente, e definiti gli stessi input di calcolo visti per il tempo perso, è stato possibile definire un costo annuo attribuibile ai consumi di carburante circa pari a 244.800 €/anno. Rapportando poi il costo al termine della vita utile dell'infrastruttura i costi economici della soluzione VII diventano 34.896.000€.

I nuovi costi dell'indicatore sono riassunti, per tutte le alternative nella tabella seguente:

| <b>Soluzione</b> | <b>Costi Economici<br/>[€]</b> |
|------------------|--------------------------------|
| Soluzione I      | 2.450.000                      |
| Soluzione II     | 2.450.000                      |
| Soluzione III    | 0                              |

| <b>Soluzione</b> | <b>Costi Economici<br/>[€]</b> |
|------------------|--------------------------------|
| Soluzione IV     | 0                              |
| Soluzione V      | 0                              |
| Soluzione VI     | 0                              |
| Soluzione VII    | 37.316.000                     |

Tabella 2-7 Costo economico totale per l'indicatore in esame

#### 2.4.2.4 Creazione di aree del connettivo urbano [S4]

Con riferimento al paragrafo 2.3.2.4 ovvero agli spazi recuperati è stato definito il metodo di calcolo dell'indicatore, che è bene ricordare, è stato computato attraverso il calcolo delle aree occupate dalle diverse soluzioni.

In particolare le aree computate per ogni soluzioni risultano pari a:

| <b>Soluzione</b> | <b>Delta aree</b> |
|------------------|-------------------|
| Soluzione I      | 9.000             |
| Soluzione II     | 9.000             |
| Soluzione III    | 2.407             |
| Soluzione IV     | 2.407             |
| Soluzione V      | 1.340             |
| Soluzione VI     | 0                 |
| Soluzione VII    | 9.000             |

Tabella 2-8 Quantificazione delle aree occupate

Secondo quanto definito nella metodologia, occorre stimare una misura di tipo mitigativo oppure, qualora non sia possibile effettuare una mitigazione, una misura di tipo compensativa. Nel caso in esame, come per la grande maggioranza dei costi sociali, non è possibile identificare una misura di mitigazione, perché vorrebbe dire prendere in considerazione una soluzione progettuale che è già considerata nelle altre alternative.

Pertanto occorre stimare una misura di tipo compensativo che permetta di quantificare, a livello economico, il surplus di interferenza dato dalle diverse soluzioni progettuali.

In particolare tale surplus è sinteticamente riportato nel grafico sottostante, realizzato coerentemente alla metodologia, ovvero sottraendo il valore dell'indicatore per la soluzione "minima" ad ogni alternativa:

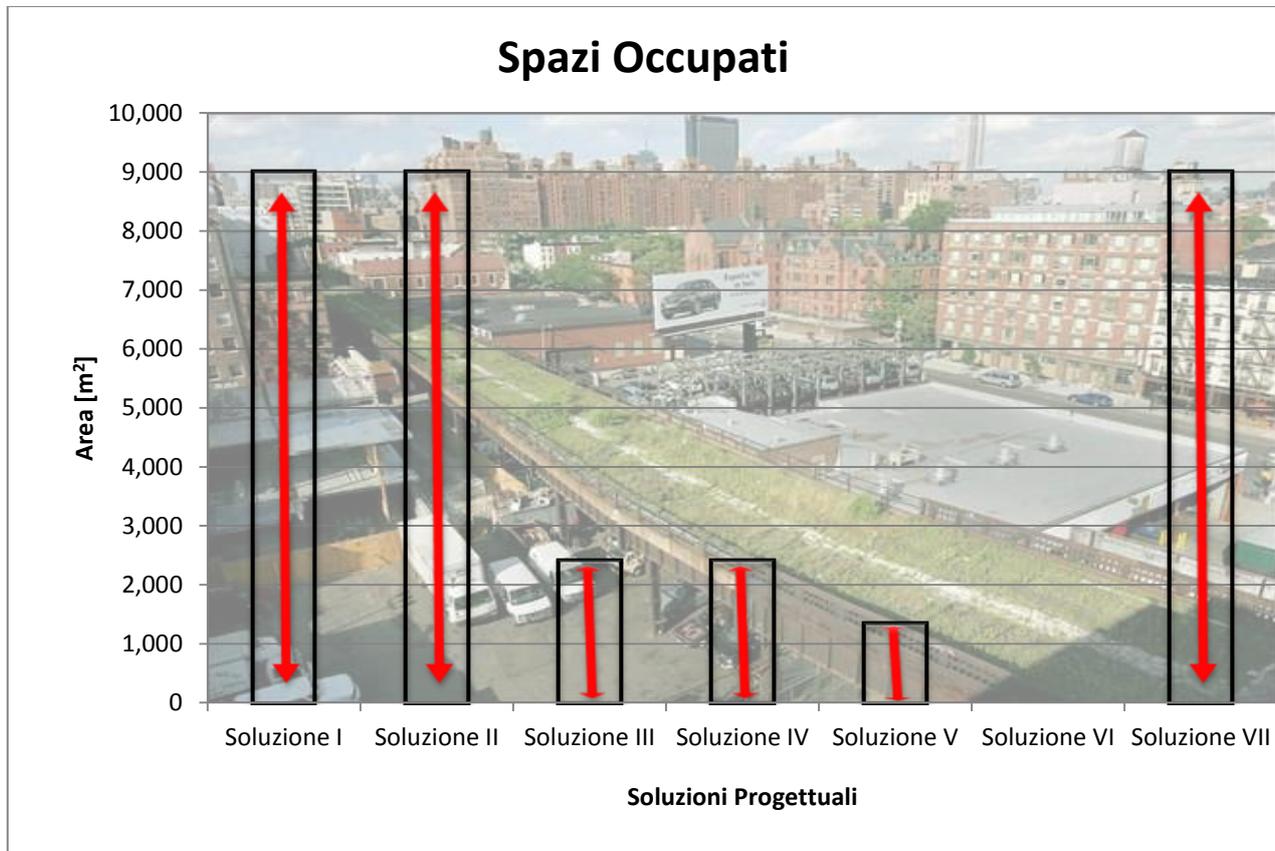


Figura 2-28 Delta Spazi Occupati in riferimento al valore minimo

La compensazione dell'indicatore consiste nel valutare il costo che la collettività dovrebbe sostenere nel caso in cui si volesse utilizzare un'area equivalente al valore d'interferenza nell'area in esame.

Anche in questo caso il valore della compensazione è puramente teorico, e utile ai soli fini della scelta progettuale.

Pertanto, il valore della compensazione è stato considerato pari al costo di esproprio nell'area d'esame. Da un'analisi effettuata sul territorio è stato possibile desumere un costo medio di esproprio al metro quadro, in modo tale da poter stimare il costo totale per la collettività.

Il costo al metro quadro stimato è di 150 euro.

| Soluzione     | Aree espropri [m²] | Costi Economici [€] |
|---------------|--------------------|---------------------|
| Soluzione I   | 9.000              | € 1.350.000,00      |
| Soluzione II  | 9.000              | € 1.350.000,00      |
| Soluzione III | 2.407              | € 361.050,00        |
| Soluzione IV  | 2.407              | € 361.050,00        |

| Soluzione     | Aree espropri<br>[m <sup>2</sup> ] | Costi<br>Economici [€] |
|---------------|------------------------------------|------------------------|
| Soluzione V   | 1.340                              | € 201.000,00           |
| Soluzione VI  | 0                                  | € 0,00                 |
| Soluzione VII | 9.000                              | € 1.350.000,00         |

Tabella 2-9 Quantificazione delle aree occupate

#### 2.4.2.5 Interferenza con i sottoservizi [S5]

Nel paragrafo 2.3.2.5 è stata calcolata l'interferenza con i sottoservizi prendendo quale elemento di riferimento la presenza della fognatura. Si è mostrato come sia di particolare importanza l'analisi di tali elementi sia sotto il profilo sociale sia sotto il profilo ambientale e in ultimo sono state definite le soluzioni interferenti rispetto agli elementi stessi. In particolare le soluzioni "critiche" per l'indicatore in esame sono risultate la soluzione V e VI con un totale di due elementi interferiti, mentre la soluzione VII è risultata interferente con il solo elemento presente in via Roma.

Anche in questo caso, come per gli indicatori precedenti, si è cercato di riportare l'interferenza agli stessi livelli delle soluzioni di minimo. In particolare occorre intervenire per far sì che il sistema fognario presenti lo stesso grado di sicurezza che aveva in condizioni "Ante Operam".



Figura 2-29 Delta rispetto al valore di minima interferenza

Andando nello specifico le soluzioni progettuali V e VI dovrebbero prevedere la deviazioni di due tratti di fognatura, rispettivamente in via del Purgatorio e in via Roma.

In realtà per quanto riguarda la soluzione V il tratto di fognatura presente su via del Purgatorio, non potendo più effettuare l'attraversamento dell'infrastruttura, andrebbe a collegarsi con l'attuale sistema di via Roma, aumentandone di fatto la portata. La struttura stessa di via del Roma andrebbe deviata e fatta passare a valle allungandone il percorso e riducendone le pendenze. Tali modifiche costituiscono una riduzione del grado di sicurezza di tutto il sistema che pertanto, per essere riportato al livello di minima interferenza, necessita di interventi strutturali.

Di particolare criticità risulta, più che il deflusso a valle, che potrebbe non comportare interferenze significative, dato il basso apporto della fogna di via del Purgatorio su via Roma, è il rigurgito a monte della sezione di raccordo tra i due sistemi fognari.

E' necessario pertanto intervenire su tale tratto al fine di ripristinare il valore del minimo ambientale rispetto a tale criticità. Una misura mitigativa del problema può essere individuata nell'allargamento della sezione a monte del collegamento tra i due sistemi fognari per una lunghezza sufficiente a garantire il contenimento del rigurgito in tale tratto.

Effettuando una stima sommaria dell'intervento necessario, considerato sia il carattere teorico della mitigazione, sia il livello di approfondimento progettuale in cui si svolge tale analisi, il tutto può essere ricondotto ad un allargamento della sezione attuale (da ovoidale 120x180 a scatolare 450x250) di circa 150 metri verso monte. Il che si potrebbe valutare, considerando una valutazione a corpo dell'intervento, nell'ordine dei 150.000 €.

Per quanto riguarda la soluzione VI si prevede la deviazione della sola fognatura di Via Roma mentre la fognatura di Via Purgatorio passera nella soletta del sottopasso, rendendo più facile da un punto di vista operativo il passaggio della sotto servizio fognario. Per avere un approccio più conservativo si considera un costo totale dell'intervento uguale a quello della soluzione V.

Per quanto riguarda la soluzione VII, questa comporta la sola deviazione della fognatura di via Roma, senza l'incremento della portata fornito dalla fognatura di via del Purgatorio come visto per le due soluzioni precedenti. Coerentemente all'analisi precedente tale deviazione comporta delle differenze di funzionamento del sistema fognario poco rilevanti che si traducono in costi mitigativi del tutto trascurabili e pertanto non sono stati presi in considerazione.

| <b>Soluzione</b> | <b>Aree espropri<br/>[n]</b> | <b>Costi<br/>Economici [€]</b> |
|------------------|------------------------------|--------------------------------|
| Soluzione I      | 0                            | 0                              |
| Soluzione II     | 0                            | 0                              |

| <b>Soluzione</b> | <b>Aree espropri<br/>[n]</b> | <b>Costi<br/>Economici [€]</b> |
|------------------|------------------------------|--------------------------------|
| Soluzione III    | 0                            | 0                              |
| Soluzione IV     | 0                            | 0                              |
| Soluzione V      | 2                            | 150.000                        |
| Soluzione VI     | 2                            | 150.000                        |
| Soluzione VII    | 1                            | 0                              |

Tabella 2-10 Quantificazione dell'interferenza con i sottoservizi

### 2.4.3 Costi Ambientali

#### 2.4.3.1 Produzione di CO<sub>2</sub> [A1]

Nel paragrafo relativo alla descrizione del presente indicatore è stato quantificata, in termini di tonnellate di CO<sub>2</sub> emessa, l'interferenza tra le diverse soluzioni progettuali, e le diverse soluzioni progettuali. In particolare si è visto come, le soluzioni che prevedono la chiusura della declassata, durante il periodo di realizzazione dell'opera, comportano un aumento delle emissioni di CO<sub>2</sub> di oltre il 100% rispetto alle soluzioni che permettono di effettuare il raddoppio senza prevedere la chiusura dell'infrastruttura.

Questo comporta un aggravio delle condizioni ambientali, ed in particolare della qualità dell'aria, nel territorio in cui insistono le alternative. Pertanto, al fine di poter proseguire nel confronto delle alternative occorre riportare tutte le alternative al livello dell'alternativa che produce la minor interferenza. Questo, come già ampiamente trattato nella metodologia e negli indicatori precedenti, comporta un aumento dei costi, dovuto alle opere di mitigazione o compensazione, che dovranno poi essere sommati ai costi di costruzione al fine di poter effettuare la scelta che possiede il minor costo.

Nel caso in esame, il delta tra le soluzioni diverse soluzioni progettuali e l'alternativa minima è riportato nel grafico sottostante:

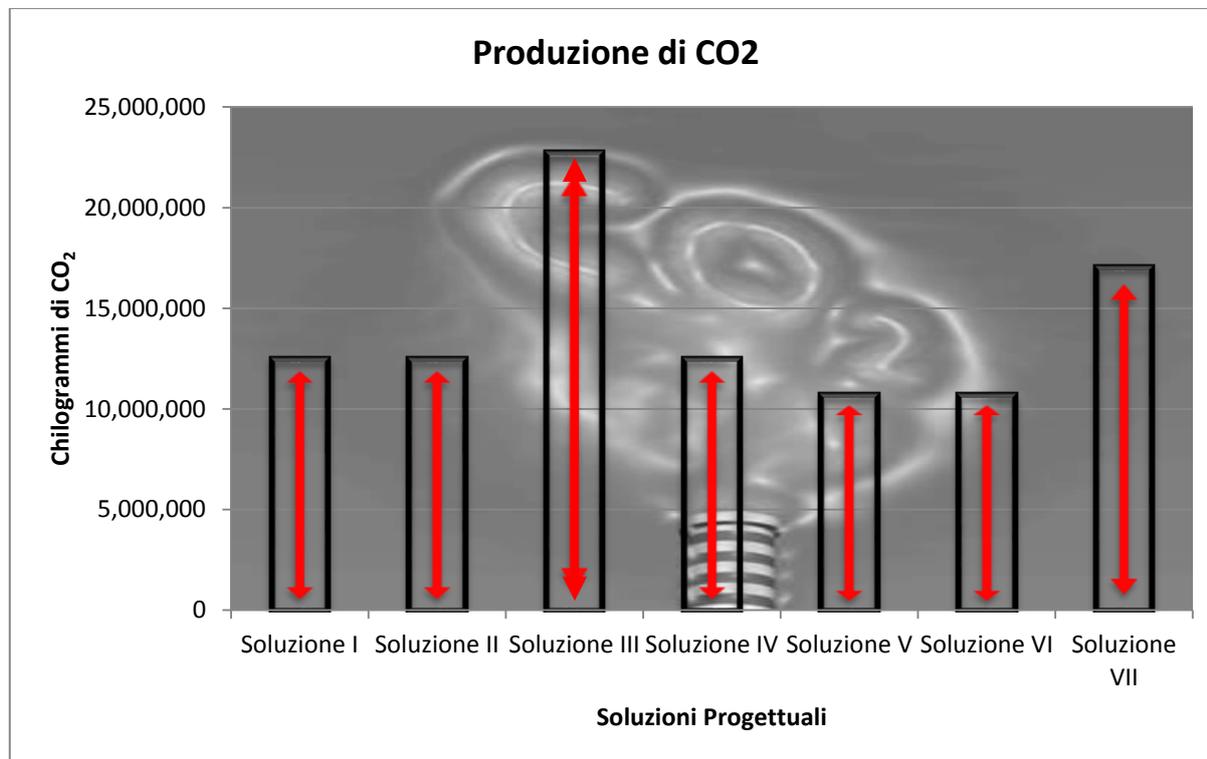


Figura 2-30 Delta produzione CO<sub>2</sub> rispetto al minimo ambientale

Pertanto le soluzioni III, V VI dovranno ridurre l'emissione di CO<sub>2</sub> di oltre 20 milioni chilogrammi nell'arco temporale relativo alla realizzazione del progetto.

Per stimare tale riduzione, si è fatto riferimento ad un opera di tipo mitigativo, ovvero si è fatto riferimento ai così detti "sink" di carbonio. In altre parole si è scelto di considerare i cosiddetti assorbitori di anidrite carbonica, ovvero quegli elementi il cui bilancio di anidride carbonica (quantità assorbita - quantità emessa) il cui saldo è positivo.

L'elemento naturale più comune per il territorio italiano in genere è rappresentato dai boschi. Attraverso alcune ricerche di letteratura è stato possibile stimare il quantitativo di anidride carbonica assorbita in un anno per ogni ettaro di superficie boscata. Tale valore, se pur indicativo, (in quanto il valore del bilancio dipende da numerosi fattori sia strutturali che morfologiche delle diverse specie, sia dalle disponibilità di luce, acqua, delle proprietà fisiche del terreno e dell'andamento climatico), può essere assunto pari a 2 tonnellate per ettaro ogni anno. Si è deciso per semplicità di considerare una media annua di due anni per tutti i tipi di alternativa progettuale. In tabella viene riportato il valore di superficie boscata necessaria a mitigare le diverse soluzioni progettuali:

| Soluzione     | Delta CO2 [t] | Superficie [ha] |
|---------------|---------------|-----------------|
| Soluzione I   | 0             | 444.33          |
| Soluzione II  | 0             | 444.33          |
| Soluzione III | 10.270        | 3011.85         |
| Soluzione IV  | 0             | 444.33          |
| Soluzione V   | 10.270        | 0               |
| Soluzione VI  | 10.270        | 0               |
| Soluzione VII | 4.592         | 1592.39         |

Tabella 2-11 Superficie necessaria di area boscata per l'assorbimento della CO<sub>2</sub>

Definita la superficie necessaria a pareggiare, in linea teorica, il bilancio della CO<sub>2</sub> nelle diverse soluzioni progettuali, occorre stimare un costo per ettaro che la collettività deve sostenere al fine di realizzare la superficie boscata. Il costo più oneroso è sicuramente relativo al reperimento dei terreni atti alla realizzazione del bosco. A tale scopo si è fatto riferimento nuovamente ai dati forniti dall'Agenzia del territorio, che fornisce i valori agricoli medi della provincia di Prato, suddivisi per tipologia di coltura e in funzione della regione agraria. Facendo riferimento ai dati disponibili più recenti, ovvero per l'anno 2010, il valore della tipologia "Bosco Misto", utile allo scopo sopracitato, è pari a 4894 €/ha. Definito il valore del terreno, è possibile stimare il surplus di costi che deve essere sommato ai costi di costruzione, moltiplicando tale valore per la superficie necessaria. Quanto sin qui detto è sintetizzato nella tabella sottostante:

| Soluzione     | Superficie [ha] | Costo Economico |
|---------------|-----------------|-----------------|
| Soluzione I   | 444,33          | € 2.174.551     |
| Soluzione II  | 444,33          | € 2.174.551     |
| Soluzione III | 3011,85         | € 14.739.994    |
| Soluzione IV  | 444,33          | € 2.174.551     |
| Soluzione V   | 0               | € 0             |
| Soluzione VI  | 0               | € 0             |
| Soluzione VII | 1592,393        | € 7.793.169     |

Tabella 2-12 Costo economico dell'area boscata

#### 2.4.3.2 Approvvigionamento di materiali pregiati [A2]

Nel paragrafo 2.3.3.1 sono stati discussi i risultati riguardanti i quantitativi richiesti dalle diverse alternative progettuali con particolare riferimento ai materiali lapidei.

La realizzazione di un progetto, ed in particolar modo le infrastrutture lineari, è caratterizzata da un grande consumo di materiali, contribuendo in maniera significativa al consumo di materiali disponibili nell'ambiente in cui il progetto stesso si innesta. Tale consumo favorisce la velocizzazione dei processi estrattivi, consumando il materiale presente in cava. Le cave prive di materiale vengono quindi dismesse, diventando così luoghi ambientalmente svantaggiati, che

necessitano di riqualificazione. Il costo ambientale, derivante da opere di mitigazione, quali ad esempio il costo per interventi rinaturazione della cava dalla quale si preleva il materiale, è già compreso nel costo del materiale stesso, in quanto ricadente tra gli oneri del cavatore. Riconsiderare tale costo equivarrebbe a conteggiare due volte uno stesso costo già contenuto all'interno del costo di costruzione dell'opera e sarebbe, quindi, formalmente sbagliato.

Pertanto, si deve scegliere un costo ambientale diverso che sia funzione comunque del consumo di materiali. Nel caso in esame si è considerato il costo "ambientale" del trasporto del materiale su gomma. In particolare, come già fatto per altri indicatori, è stata valutato la produzione di CO<sub>2</sub> dovuta all'incremento del traffico pesante per il trasporto del materiale.

Al fine di calcolare la differenza di interferenza, tra la soluzione migliore sotto il profilo dell'indicatore in esame e le altre soluzioni in esame, si riportano i volumi visti in precedenza per l'indicatore A1:

| <b>Soluzione</b> | <b>Valore Indicatore [m<sup>3</sup>]</b> |
|------------------|--|
| Soluzione I      | 30.408                                   |
| Soluzione II     | 27.430                                   |
| Soluzione III    | 15.953                                   |
| Soluzione IV     | 15.953                                   |
| Soluzione V      | 24.560                                   |
| Soluzione VI     | 25.712                                   |
| Soluzione VII    | 4.900                                    |

Tabella 2-13 Volumi di materiale necessario nelle diverse soluzioni

I volumi di mc da trasportare verranno dati dalla differenza tra la soluzione i-esima e la soluzione VII posta come minimo di interferenza ambientale. I risultati di tale elaborazione sono sinteticamente riproposti nel grafico sottostante:

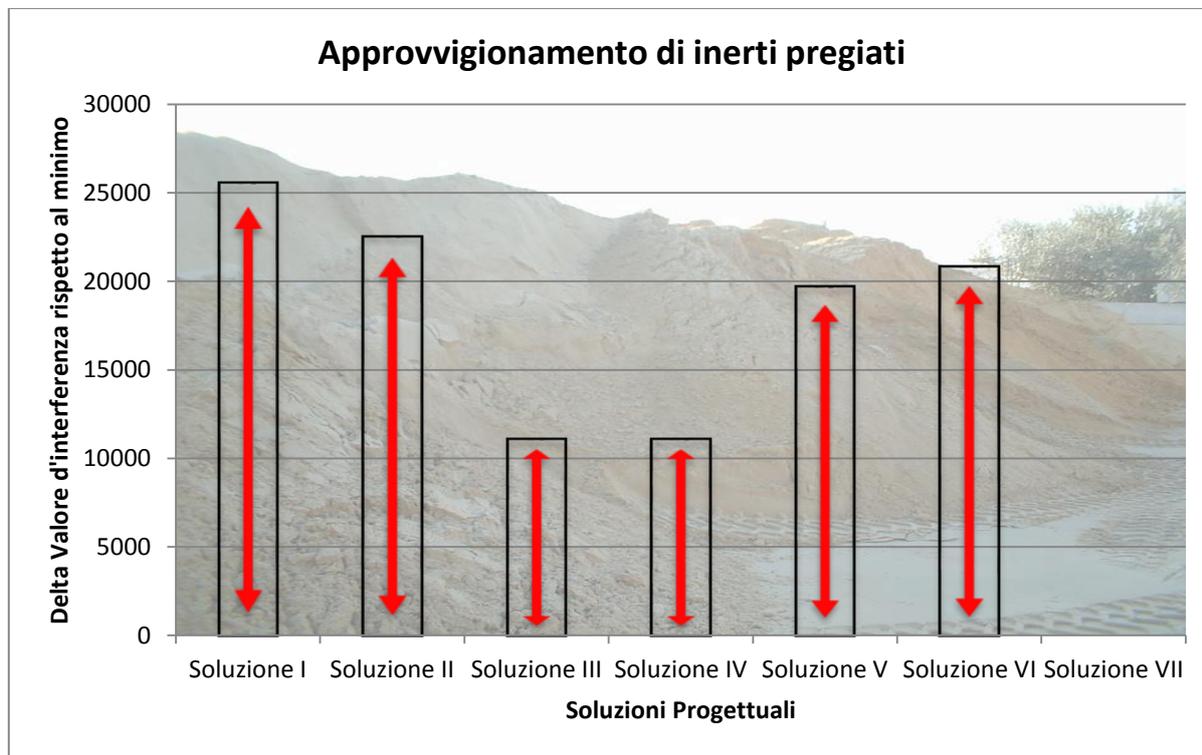


Figura 2-31 Delta valore di interferenza rispetto al minimo

Il maggior "delta", in termini di impatti sull'ambiente con riferimento alla componente in esame è dato dalla differenza tra la soluzione I e la soluzione VII. Infatti dato il grande volume di terre utilizzate per la realizzazione dei rilevati, e data la presenza di opere d'arte (quali i muri di contenimento) che prevedono l'uso di calcestruzzi, e pertanto il consumo di inerti pregiati, fa sì che i consumi richiesti per la soluzione I siano maggiori rispetto alla soluzione "a raso". Allo stesso modo anche per le soluzioni V e VI, nonostante non siano previsti consumi di terre, i quantitativi di cls per la realizzazione delle opere d'arte (trincee e gallerie) fa sì che i volumi di inerti siano comunque molto elevati. In quest'ottica le soluzioni III e IV prevedono minor quantitativi di terre e minori quantitativi di cls, rappresentano le soluzioni più vicine al minimo ambientale.

Una volta determinati i volumi di riduzione necessari, si possono determinare i numeri di viaggi necessari al trasporto del materiale.

In particolare, assumendo una capienza degli autocarri di 16 tonnellate ed una distanza media dalla discarica di circa 30 km, è possibile stimare la quantità di CO<sub>2</sub> emessa durante il trasporto del materiale.

| Soluzione     | Quantità di CO <sub>2</sub> [t] |
|---------------|---------------------------------|
| Soluzione I   | 18,36                           |
| Soluzione II  | 16,22                           |
| Soluzione III | 7,95                            |

| <b>Soluzione</b> | <b>Quantità di CO<sub>2</sub> [t]</b> |
|------------------|---------------------------------------|
| Soluzione IV     | 7,95                                  |
| Soluzione V      | 14,15                                 |
| Soluzione VI     | 14,98                                 |
| Soluzione VII    | 0                                     |

Tabella 2-14 Quantità di CO<sub>2</sub> emessa durante il trasporto

Definita la CO<sub>2</sub> si può considerare, come visto nell'indicatore precedente, una capacità di assorbimento da parte di un ettaro di area boscata, ed un relativo costo. Sinteticamente si riporta il surplus economico relativo alla realizzazione delle diverse soluzioni progettuali.

| <b>Soluzione</b> | <b>Costo Economico [€]</b> |
|------------------|----------------------------|
| Soluzione I      | 44.941                     |
| Soluzione II     | 39.694                     |
| Soluzione III    | 19.473                     |
| Soluzione IV     | 19.473                     |
| Soluzione V      | 34.637                     |
| Soluzione VI     | 36.667                     |
| Soluzione VII    | 0                          |

Tabella 2-15 Costo economico mitigazione della CO<sub>2</sub>

Come si evince dalla tabella i costi relativi all'indicatore in esame sono comunque contenuti, dato la poca quantità di materiale approvvigionato, in termini assoluti nell'area in esame.

#### *2.4.3.3 Conferimento di materiale a discarica [A3]*

Con riferimento ai materiali da conferire a discarica previsti nelle diverse realizzazioni dell'opera analizzati nel paragrafo 2.3.3.3, per la quantificazione economica delle misure di mitigazione e compensazione necessarie a portare al livello di minima interferenza tutte le alternative progettuali si è fatto riferimento ai costi di mitigazione.

Anche in questo caso, come visto in precedenza, i costi di mitigazione quali ad esempio il costo per la realizzazione di una nuova discarica, andando così a compensare il materiale conferito, è già considerato nei costi di costruzione, ovvero nei costi di conferimento a discarica del materiale. In analogia all'indicatore precedente, si può considerare il costo ambientale trasferito al territorio dal trasporto e dallo smaltimento di tale materiale in termini di incremento di CO<sub>2</sub>.

Occorre, pertanto, far riferimento al delta di interferenza tra la soluzione che “migliore” sotto il profilo dell’indicatore analizzato e le altre soluzioni. In particolare con riferimento ai risultati dell’analisi vista nei paragrafi precedenti vengono riportati i quantitativi di materiale (indicativi) da conferire a discarica:

| Soluzione     | Valore Indicatore |
|---------------|-------------------|
| Soluzione I   | 4.680             |
| Soluzione II  | 7.020             |
| Soluzione III | 26.760            |
| Soluzione IV  | 26.760            |
| Soluzione V   | 161.000           |
| Soluzione VI  | 161.000           |
| Soluzione VII | 71.364            |

Tabella 2-16 Valore in metri cubi di materiale conferito a discarica

Anche in questo caso, coerentemente a quanto descritto nella parte di metodologia, si è fatto riferimento al delta tra i volumi dell’opzione a minima interferenza ambientale, nel caso di specie la I, e le altre soluzioni progettuali.



Figura 2-32 Conferimento materiale a discarica – Delta indicatore rispetto al minimo

In questo caso le soluzioni che prevedono i maggiori volumi di conferimento a discarica sono le alternative che prevedono l'interramento, parziale o totale, di viale Leonardo Da Vinci.

Infatti in tali soluzioni oltre al volume necessario allo scavo si deve considerare anche il volume di sbancamento del rilevato esistente. Gli stessi ragionamenti, se pur in quantitativi minori, valgono per la soluzione a raso (VII). Le alternative che più si avvicinano alla soluzione che trasferisce la minima pressione ambientale sono la soluzione III e la soluzione IV i cui volumi di conferimento a discarica sono dati dallo sbancamento del rilevato esistente nel tratto in cui sarà realizzato il ponte.

Per calcolare la pressione ambientale che tali soluzioni trasferiscono all'ambiente sotto il profilo della componente in esame, come accennato in precedenza si è fatto riferimento a ai quantitativi di CO<sub>2</sub>. Per brevità di trattazione si riportano unicamente i calcoli finali, ai quali si è giunti applicando la stessa metodologia vista negli indicatori precedenti.

| <b>Soluzione</b> | <b>Quantità di CO<sub>2</sub><br/>[t]</b> | <b>Costo<br/>Economico [€]</b> |
|------------------|---|--------------------------------|
| Soluzione I      | 0   | 0                              |
| Soluzione II     | 1,68                                      | 4.122                          |
| Soluzione III    | 15,89                                     | 38.901                         |
| Soluzione IV     | 15,89                                     | 38.901                         |
| Soluzione V      | 112,69                                    | 275.865                        |
| Soluzione VI     | 112,69                                    | 275.865                        |
| Soluzione VII    | 48,01                                     | 117.486                        |

Tabella 2-17 Costo economico per l'abbattimento della CO<sub>2</sub> derivante dal trasporto del materiale

#### *2.4.3.4 Presenza di elementi infrastrutturali in elevazione [A4]*

Come già visto nel paragrafo di riferimento dell'indicatore l'intrusione visiva fornisce uno strumento di valutazione della permeabilità visiva. In particolare, nella parte di valutazione dell'indicatore sono stati definiti i metri lineari in cui l'infrastruttura presentava caratteristiche geometriche tali da interferire in maniera più o meno significativa (impermeabile o parzialmente permeabile) con gli edifici frontisti.

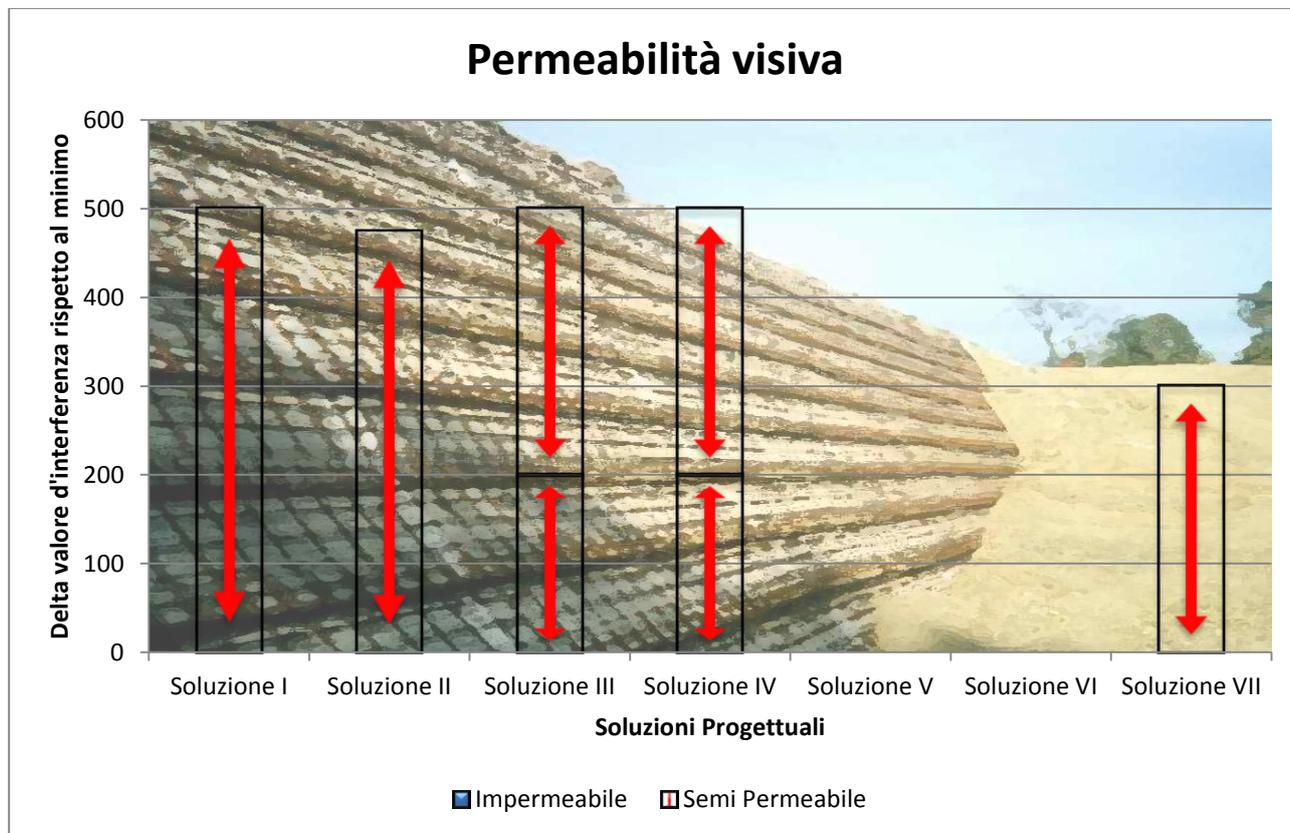


Figura 2-33 Delta interferenza permeabilità visiva

In coerenza a quanto visto per gli indicatori precedenti, occorre definire una misura mitigativa o compensativa atta a definire il diverso impatto trasferito al territorio dalle diverse alternative.

Per quanto riguarda l'impatto visivo, le mitigazioni ambientali sono molto complesse, ovvero è complesso definire quelle che sono l'effettiva efficacia della mitigazione posta in essere. In altre parole, è ben diverso mitigare un intervento attraverso la variazione del colore del carter di copertura di un ponte, invece di realizzare un'opera in sotterraneo che, dal punto di vista puramente "visivo" rappresenta sicuramente una condizione di azzeramento dell'interferenza. Ovviamente, tra questi due estremi, ci sono una serie diversa di tipologie di mitigazioni, i cui risultati in termini di efficacia sono differenti.

Nel caso in esame, al fine di svincolarsi da caratteri di soggettività della misura di mitigazione, si è preferito considerare una misura di tipo compensativo, anziché una misura di tipo "mitigativo". In particolare si è preso in considerazione il surplus economico trasferito al territorio dalle diverse soluzioni progettuali. Le diverse alternative, infatti, possono trasferire caratteri di appetibilità al territorio circostante, andando ad incrementare il valore economico degli edifici frontisti.

Pertanto, la contabilizzazione economica, ovvero il costo che si dovrebbe trasferire alla collettività per far sì che le alternative siano equivalenti in funzione della componente presa in esame, sarà dato dal mancato surplus tra la soluzione migliore e le altre soluzioni.

Per quanto riguarda la quantificazione numerica del surplus si è fatto riferimento ai dati delle quotazioni immobiliari dell'Agenzia del territorio. In particolare tale banca è articolata in funzione di alcuni parametri, quali la fascia/la zona di locazione e il tipo di destinazione (se residenziale, commerciale ecc). Definiti tali parametri è possibile stimare un prezzo minimo e uno massimo al metro quadro per ogni edificio. Nel caso in esame è stato assunto, per gli edifici frontisti, un valore medio tra il minimo e il massimo.

Definito così il valore attuale, il surplus è stato identificato come la variazione in positivo che il fronte permeabile fornisce agli edifici frontisti, spostando il valore dalla media al valore massimo della classe definita dalla banca dati dell'agenzia del territorio. Anche il fronte semipermeabile costituisce un miglioramento della condizione attuale che invece risulta impermeabile, tuttavia, al fine di differenziarlo dal fronte permeabile che fornisce sicuramente dei benefici maggiori, si è scelto di dare un valore di tipo intermedio tra lo stato attuale e il limite superiore della classe.

La soluzione con il rilevato invece, è stata considerata peggiorativa in quanto, rispetto alla situazione attuale, oltre a rimanere impermeabile presenta un ingombro "visivo" maggiore rispetto alla situazione attuale. Sinteticamente si riportano i valori unitari desunti dall'agenzia del territorio partendo dal valore di 0 assunto come valore attuale dell'immobile.

Tali valori rappresentano il delta tra il costo attuale dell'immobile e quello a seguito della realizzazione della soluzione progettuale valutati sul singolo metro quadrato per le tipologie di fronte maggiormente presente in ogni soluzione (impermeabile – semipermeabile – permeabile).

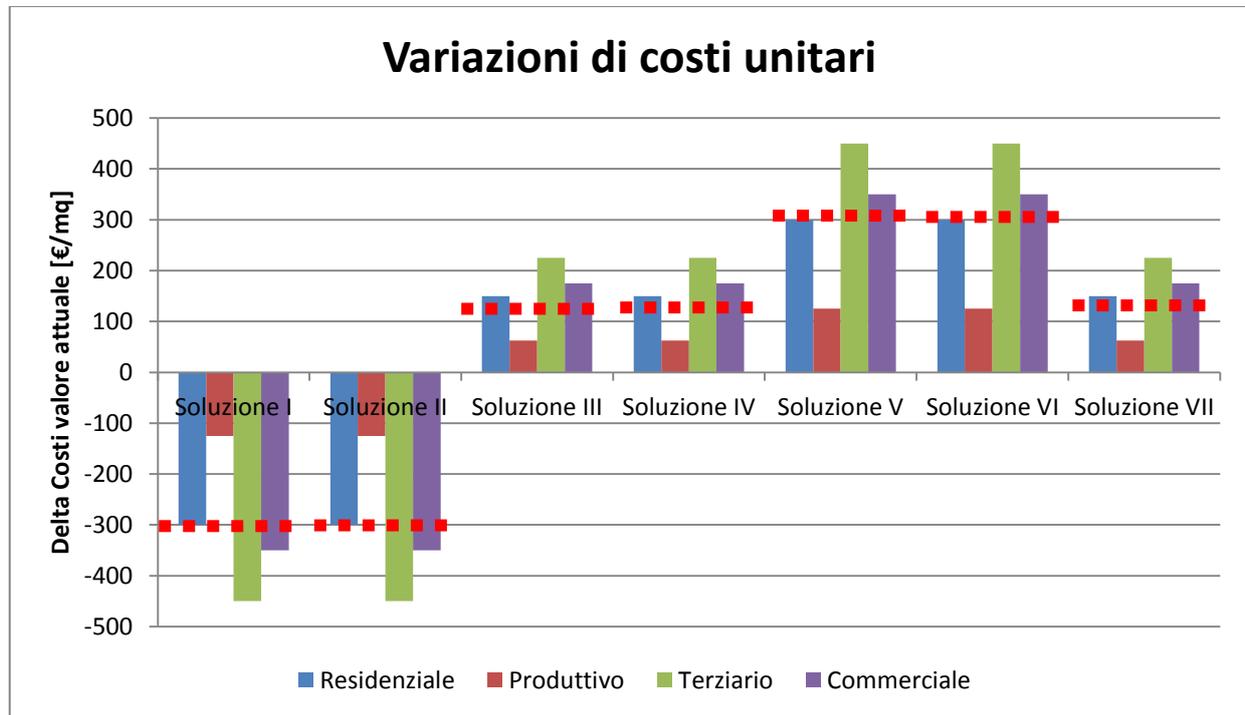


Figura 2-34 Variazione dei costi unitari nei casi più frequenti per ogni soluzione

A questo punto, considerati gli incrementi forniti dalle diverse soluzioni progettuali è possibile definire, per differenza, il mancato surplus, ovvero il costo economico da aggiungere ai costi di costruzione nelle diverse alternative per riportare tutte le soluzioni all'ottimo definito, in questo caso, dalle soluzioni V e VI.

In particolare il costo è sinteticamente riportato in tabella:

| Soluzione     | Costo Economico |
|---------------|-----------------|
| Soluzione I   | 25.625.400      |
| Soluzione II  | 22.316.400      |
| Soluzione III | 15.421.650      |
| Soluzione IV  | 15.421.650      |
| Soluzione V   | 0               |
| Soluzione VI  | 0               |
| Soluzione VII | 4.147.237       |

Tabella 2-18 Costi economici definiti dal surplus economico trasferito agli edifici frontisti

#### 2.4.3.5 Compromissione della risorsa idrica [A5]

Per quanto riguarda la compromissione della risorsa idrica, sono state individuate, nel paragrafo relativo al calcolo dell'indicatore, le soluzioni che determinavano interferenza con la falda. In particolare sono state identificate come interferenti le alternative che prevedevano la realizzazione di opere d'arte o scavi a profondità superiori ai 10 metri, profondità tali cioè da intercettare la falda superficiale.

A valle di tale analisi è emerso come le uniche soluzioni con tali caratteristiche fossero le soluzioni III, IV, V e VI ovvero le soluzioni progettuali con opere d'arte fondate su pali.

Nel presente paragrafo, in coerenza a quanto visto nella metodologia, si intende definire una misura di mitigazione o compensazione per la quantificazione economica dell'interferenza ambientale.

In particolare, la mitigazione deve riportare le soluzioni interferenti al livello della soluzione minima.

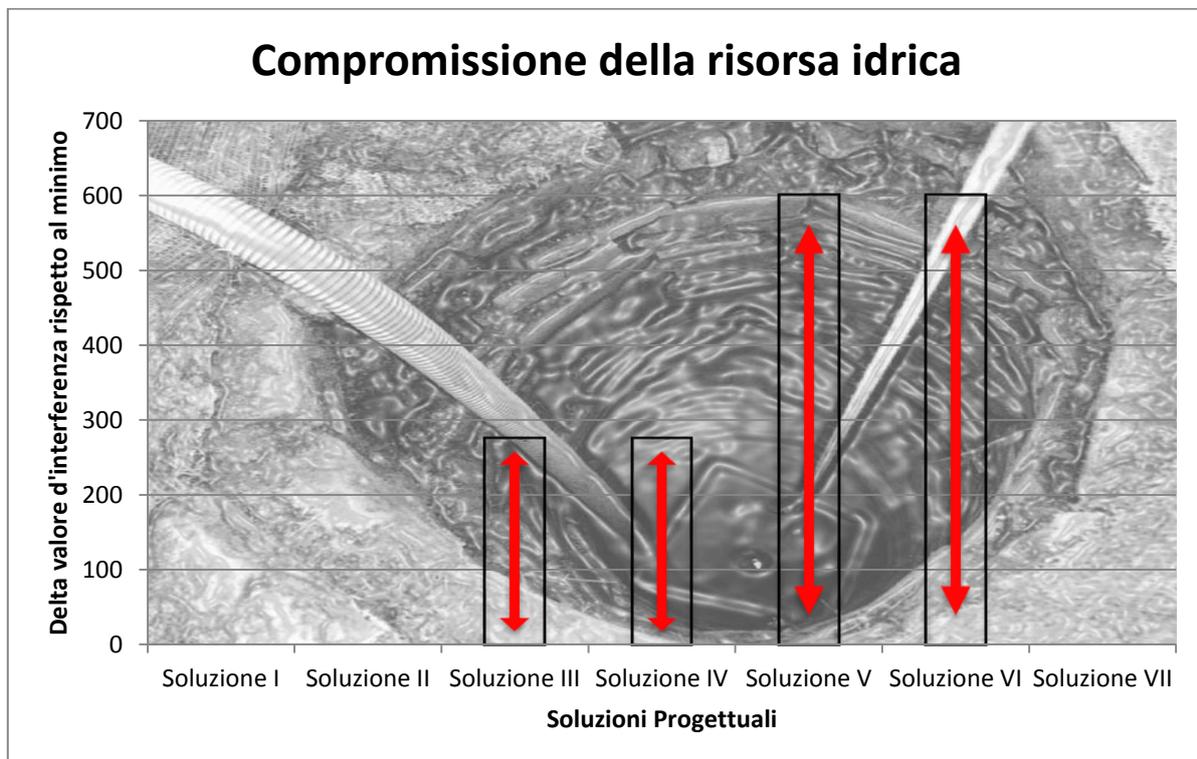


Figura 2-35 Delta del valore di interferenza per la compromissione della risorsa idrica

Al fine di riportare la soluzione a livelli di non interferenza, così come definito dalle altre alternative, occorre ridurre la profondità delle opere d'arte con particolare riferimento ai pali di

fondazione. Pertanto, nel caso in esame, occorre calcolare il surplus di costo dato dalla diversa soluzione di fondazione.

Una soluzione diversa con una fondazione superficiale, sarebbe stata possibile con costi sicuramente superiori e con un'occupazione di suolo decisamente maggiore pertanto meno efficiente, per quanto riguarda la soluzione su ponte, mentre per quanto riguarda la soluzione in galleria, come analizzato nei capitoli di descrizioni delle alternative, si sarebbe incorso in notevoli problematiche in fase di realizzazione, motivo per il quale tale tipologia di fondazione non è stata presa in considerazione dai progettisti.

In questa sede tuttavia, essendo mitigazioni puramente teoriche, come già sottolineato ampiamente nei paragrafi precedenti, è possibile prenderla in esame al fine di definire un surplus di costo che riporti sotto il profilo dell'indicatore in esame, le alternative allo stesso livello.

Andando quindi a definire una fondazione con una profondità superiore ai -10m dal piano campagna si ottiene l'equivalenza con le altre alternative, ovvero la non interferenza con la falda e l'indicatore in esame, per le soluzioni III e IV, tornerebbe ai livelli di minima interferenza.

Un'ipotesi di fondazione superficiale, ampliando la superficie di contatto con il terreno e diminuendo la profondità di scavo, ha un costo che può essere quantificato nell'ordine di circa tre milioni di euro per il ponte e sei per le soluzioni in galleria.

Il costo economico delle diverse soluzioni è sinteticamente riportato nella tabella sottostante:

| <b>Soluzione</b> | <b>Costo Economico</b> |
|------------------|------------------------|
| Soluzione I      | 0                      |
| Soluzione II     | 0                      |
| Soluzione III    | 3.000.000              |
| Soluzione IV     | 3.000.000              |
| Soluzione V      | 6.000.000              |
| Soluzione VI     | 6.000.000              |
| Soluzione VII    | 0                      |

Tabella 2-19 Costo economico dell'opera di mitigazione

#### 2.4.3.6 Inquinamento acustico [A6]

Nel paragrafo 2.3.3.6 è stato trattato il tema dell'inquinamento acustico. In particolare si è fatto riferimento alle aree di interferenza, ovvero le aree delle curve isofoniche superiori ai 65 dB(A). A differenza dell'indicatore precedente, per l'inquinamento acustico, è ben definibile una misura

mitigativa che possa in maniera univoca (seguendo cioè leggi matematiche oggettivamente valide) riportare a livelli di equivalenza le diverse soluzioni progettuali.

La misura mitigativa consiste pertanto nel progettare delle barriere fonoassorbenti tali da far sì che il rumore prodotto dalle diverse soluzioni sia analogo. Riferendosi nello specifico alla quantità definita dall'indicatore, le aree al di sopra dei 65 dB(A) devono essere equivalenti.

L'area di riferimento a cui dovranno tendere tutte le alternative è quella relativa alla soluzione VI ovvero la soluzione completamente interrata.

In questo caso, date le scarse differenze in termini di area tra le alternative in sopraelevazione, ovvero le soluzioni dalla I alla IV e la soluzione a raso ovvero la VII, il progetto delle barriere fonoassorbenti può essere considerato equivalente. Per quanto riguarda la soluzione V, ovvero la soluzione parzialmente interrata deve essere considerato un progetto differente in quanto le aree sono sensibilmente differenti.

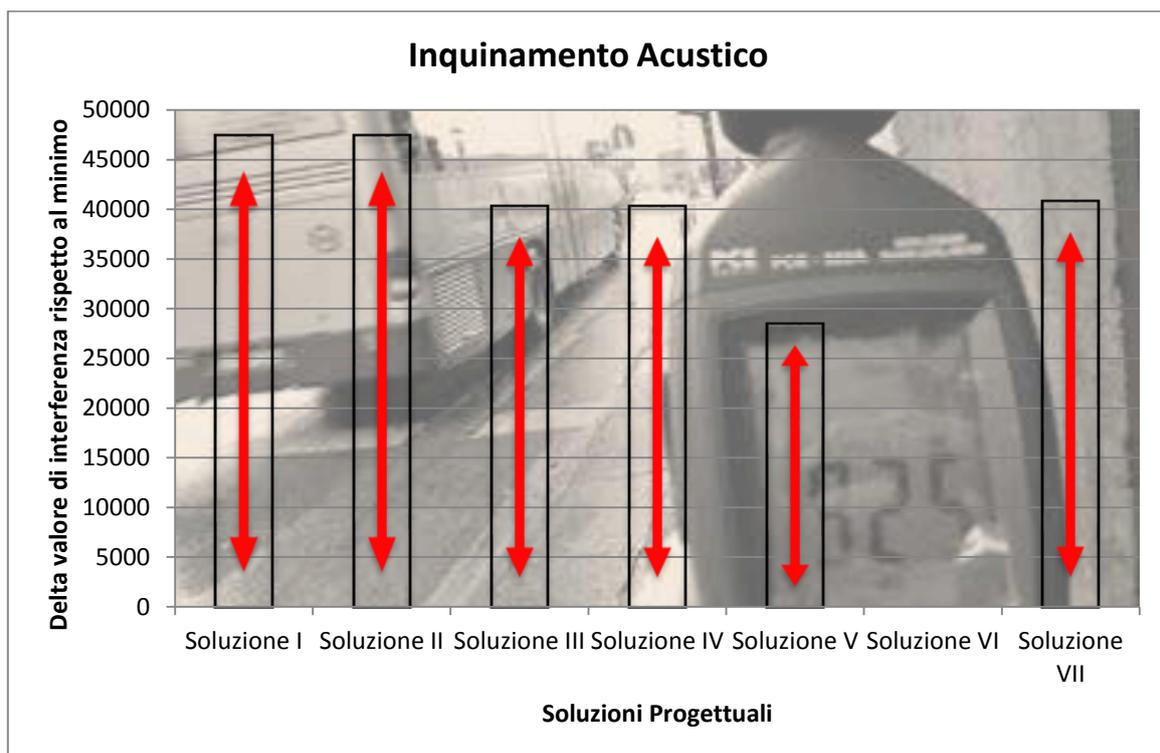


Figura 2-36 Delta di riduzione delle aree di interferenza per l'inquinamento acustico rispetto al minimo

In particolare attraverso per quanto riguarda le simulazioni in ponte e in rilevato, attraverso la realizzazione di due barriere poste ai bordi della strada, di altezza 2m nelle rampe e di 4m nel tratto sopraelevato, si riesce a riportare ad una condizione di equivalenza le aree delle soluzioni con l'area d'interferenza minima.

Per quanto riguarda la soluzione a piano campagna, il progetto delle barriere risulta analogo in termini di superfici di barriere utilizzate, ma diverso in termini di localizzazione (in particolare le

barriere da 4 metri sono poste in prossimità dell'area a raso mentre le barriere più basse in prossimità della parte in trincea.

In ultimo per quanto riguarda la soluzione in trincea questa presenta delle barriere da 2 metri localizzate solo in prossimità delle aperture, ovvero dei tratti di trincea non coperti e delle rampe.

La quantificazione economica delle opere di mitigazione è facilmente desumibile dai prezziari di riferimento, che forniscono il costo al m<sup>2</sup> di barriera fonoassorbente. In particolare, tale costo, considerando una tipologia di barriera comunemente utilizzata su infrastrutture analoghe alla declassata, è stato desunto pari a 87€/m<sup>2</sup>.

Il surplus di costi dovuto alla presenza delle barriere è sinteticamente riportato nella tabella sottostante:

| <b>Soluzione</b> | <b>Barriere [m<sup>2</sup>]</b> | <b>Costo Economico</b> |
|------------------|---------------------------------|------------------------|
| Soluzione I      | 7570                            | 658.770                |
| Soluzione II     | 7570                            | 658.770                |
| Soluzione III    | 7570                            | 658.770                |
| Soluzione IV     | 7570                            | 658.770                |
| Soluzione V      | 2322                            | 202.015                |
| Soluzione VI     | 0                               | 0                      |
| Soluzione VII    | 7570                            | 658.770                |

Tabella 2-20 Costo economico delle opere di mitigazione

#### 2.4.3.7 Emissioni in Aria [A7]

Per quanto riguarda le emissioni in aria, si è visto nel paragrafo 2.3.3.7 come le diverse alternative possano essere trattate come invariati dal punto di vista emissivo mentre presentano notevoli differenze in termini di concentrazioni. In tale sede è stata studiata la diversa distribuzione degli inquinanti al suolo al variare delle soluzioni progettuali.

Per la quantificazione economica dell'interferenza ambientale, coerentemente a quanto fatto per l'indicatore precedente, è stato possibile definire una mitigazione ambientale che da un lato permettesse di riportare ad un livello di equivalenza le diverse alternative sotto il profilo ambientale e dall'altro fosse quantificabile, in termini di costi aggiunti alla soluzione stessa.

In particolare si può fare riferimento ad una nuova tecnologia disponibile nel campo delle mitigazioni ambientali, ormai consolidata soprattutto in campo urbano, ovvero le pavimentazioni fotocatalitiche. Recenti studi hanno infatti mostrato l'efficacia e l'efficienza di tali tecnologie. I

risultati di laboratorio si attestano a valori di abbattimento degli ossidi di azoto nell'ordine del 90%<sup>2</sup>, mentre ulteriori studi effettuati su campi prova<sup>3</sup> e alcuni studi sul campo<sup>4</sup> hanno dimostrato una riduzione che variano rispettivamente dal 40 ad oltre il 60% in termini di concentrazione degli inquinanti. Le pavimentazioni fotocatalitiche infatti, sfruttano le reazioni fotochimiche mediante l'uso di un catalizzatore, che generalmente è il biossido di titanio, il quale, a seguito dell'azione della luce (solare o artificiale), dà luogo a reazioni chimiche che trasformano le sostanze inquinanti aerodisperse in sostanze non nocive e generalmente pesanti (quali nitrati e sali) che si depositano sulla strada.

Pertanto, per far sì che tutte le soluzioni siano equivalenti sotto il profilo della componente in esame, occorre valutare i metri quadri di pavimentazione fotocatalitica necessaria per far sì che le aree di concentrazioni degli inquinanti, utilizzate per la valutazione dell'indicatore siano equivalenti.

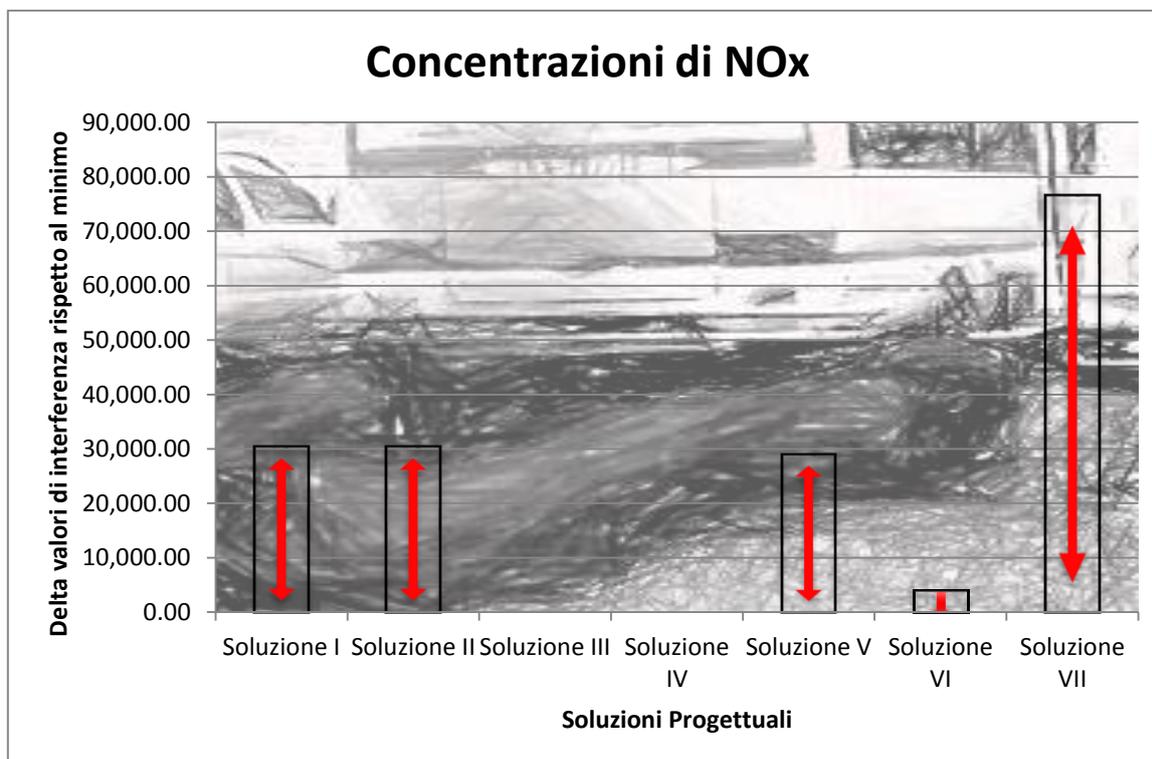


Figura 2-37 Delta valori di interferenza per aree a isoconcentrazione

I valori di metri quadri necessari per l'equivalenza delle aree, considerando i valori di riduzione emersi dalle ricerche di letteratura sopracitati, sono sinteticamente riportati nella tabella sottostante:

<sup>2</sup> Studi Centro Nazionale Ricerche

<sup>3</sup> Studi Centro Tecnico del Gruppo Italcementi, pavimentazione realizzata a Bergamo nel 2006

<sup>4</sup> Elaborazioni con apparecchiature omologate CNR nel comune di Segrate - Milano

| <b>Soluzione</b> | <b>Metri lineari<br/>pavimentazione<br/>fotocatalitica [m]</b> |
|------------------|--|
| Soluzione1       | 550  |
| Soluzione2       | 550  |
| Soluzione3       | 0  |
| Soluzione4       | 0  |
| Soluzione5       | 525  |
| Soluzione6       | 100  |
| Soluzione7       | 900  |

Tabella 2-21 Metri lineari di pavimentazione fotocatalitica necessari

Da indagini di mercato effettuate, un prezzo medio per la realizzazione di una pavimentazione di tipo fotocatalitica, considerando anche i costi aggiuntivi per la realizzazione di pavimentazione in terra stabilizzata, è circa pari a 22€/mq.

Pertanto, i costi economici da sommare ai costi di costruzione per l'indicatore in esame sono:

| <b>Soluzione</b> | <b>Costo Economico</b> |
|------------------|------------------------|
| Soluzione I      | 170.000                |
| Soluzione II     | 170.000                |
| Soluzione III    | 0                      |
| Soluzione IV     | 0                      |
| Soluzione V      | 160.000                |
| Soluzione VI     | 30.000                 |
| Soluzione VII    | 270.000                |

Tabella 2-22 Costo economico per l'indicatore A7

## **2.5 Conclusione**

In conclusione se consideriamo i costi Totali che sono la somma dei costi economici, compresa la manutenzione, i costi sociali e ambientali, il risultato dell'analisi è riassunto nella seguente Figura 2-38

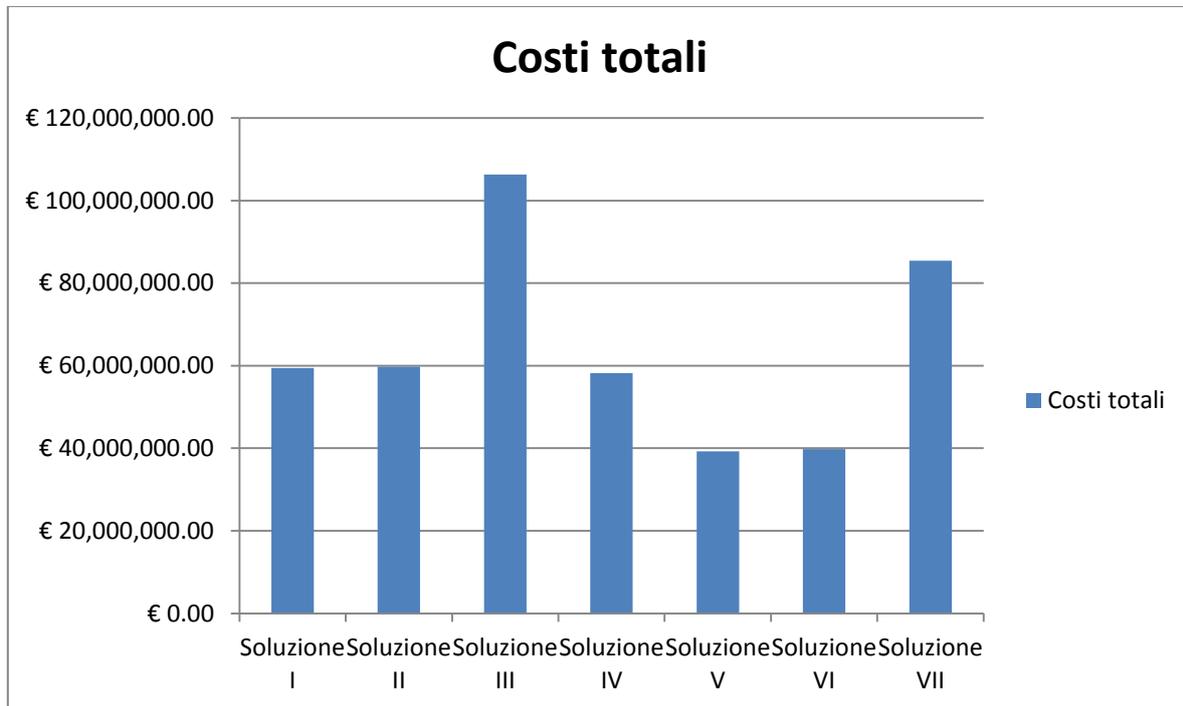


Figura 2-38 Costi totali delle diverse alternative di progetto

Già da una prima analisi visiva del grafico soprastante, si può notare come si possano individuare due classi di alternative: che superano gli 80 milioni di euro cioè la soluzione III e VII

Le soluzioni I, II, IV che prevedono comunque la non chiusura del traffico della declassata si attestano intorno ai 60 milioni di euro.

Le due alternative che risultano avere un costo simile sono le due soluzioni V e VI che si attestano intorno ai 40 milioni di euro e pertanto, in coerenza alla metodologia sopraesposta, definite quali più performanti.

La differenza di costi tra tali due alternative è di circa 500.000 euro cioè pari a poco più del 1%.

In considerazione del livello di approssimazione scelta per la determinazione dei costi nel modello presentato, nell'analisi delle diverse soluzioni progettuali, è possibile affermare che le due soluzioni V e VI si possano considerare equivalenti.

Da un punto di vista ambientale (paesaggistico) e sociale, la soluzione VI oggettivamente garantisce la costruzione di un parco cittadino più esteso e con una fruibilità maggiore non essendo previste le finestrature del sottopasso, a fronte di un piccolo surplus di costi. Inoltre da un punto di vista operativo e ambientale il passaggio del sistema fognario di Via Purgatorio nella soletta del sottopasso è decisamente più vantaggiosa anche se livello di costi è stata considerata uguale a quella della soluzione V.

Data l'equivalenza soprarichiamata delle due alternative (V e VI) si è quindi optato per la soluzione VI proprio in considerazione di tale effetto positivo sul tessuto urbano-sociale.