



Anas SpA

Direzione Centrale Progettazione

CUP F2602000340001 CIG 652449686B



GARA CA 08/15 - NUOVA SS 554 CAGLIARITANA

ADEGUAMENTO DELL'ASSE ATTREZZATO URBANO ED ELIMINAZIONE DELLE INTERSEZIONI A RASO DAL KM 1+500 AL KM 11+850



OFFERTA TECNICA

ASSE STRADALE PRINCIPALE

PROGETTO STRADALE

ELABORATI GENERALI

Relazione Tecnica - Pavimentazioni Stradali

CODICE PROGETTO			CODICE ELABORATO					SCALA	DATA	CODICE ELABORATO DI OFFERTA
progetto	liv.	numero	campo 1	campo 2	campo 3	campo 4	rev			
DPCA06	D	1501	T00	PS00	TRA	RE02	A	-	21/04/16	6.2

CONCORRENTE:



PROGETTISTA INDICATO COSTITUENDO R.T.P.

Capogruppo Mandataria R.T.P.



Mandante



Mandante

ING. FRANCESCA LEO

RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE FRA LE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE

Ing. Paolo Cucino

RESPONSABILE ELABORATO

Ing. Paolo Cucino

INDICE

1	PROPOSTE TECNICO-PROGETTUALI MIGLIORATIVE RELATIVE A MATERIALI E TECNOLOGIE COSTRUTTIVE DELLA PAVIMENTAZIONE STRADALE	2
1.1	Premessa	2
1.2	Impiego di scorie d'altoforno e fibre di cellulosa/vetro nel confezionamento delle miscele per lo strato di usura drenante	4
1.3	Binder Hard antiormaiamento	5
1.4	Base riciclata a freddo con emulsione bituminosa modificata	5
1.5	Misto cementato riciclato in sito	8
1.6	Impianto mobile per la produzione della base riciclata a freddo con emulsione e dello strato di sottobase in misto cementato riciclato	9
1.7	Strato di Usura Hard SMA antisdrucchiolo (viabilità secondaria)	12
2	DIMENSIONAMENTO DELLE PAVIMENTAZIONI E CONFRONTO PRESTAZIONALE TRA SOLUZIONE A BASE GARA E SOLUZIONE MIGLIORATIVA	13
2.1	Metodo di calcolo	13
2.2	Analisi del traffico di progetto	15
2.3	Verifica della sovrastruttura	17
3	ANALISI DEI COSTI DI MANUTENZIONE SUL CICLO DI VITA	25
3.1	Evoluzione del livello di servizio delle pavimentazioni nel tempo e confronto sulle prestazioni residue al termine della vita utile di progetto	25
3.2	Analisi dei costi complessivi di manutenzione sul lungo periodo	27

1 PROPOSTE TECNICO-PROGETTUALI MIGLIORATIVE RELATIVE A MATERIALI E TECNOLOGIE COSTRUTTIVE DELLA PAVIMENTAZIONE STRADALE

1.1 Premessa

Al fine di elevare la funzionalità e la durabilità dell'opera, sono state proposte delle soluzioni tecnico-progettuali atte a migliorare, nel tempo, lo stato di conservazione dell'opera e ridurre gli interventi manutentivi mediante l'adozione di tecniche e materiali qualitativamente più idonei.

Esse riguardano i seguenti elementi che saranno dettagliati nell'ambito della presente relazione:

VIABILITA' PRINCIPALE:

1. Impiego di una percentuale del 10% DI SCORIE D'ALTOFORNO nel confezionamento della miscele per lo strato di usura drenante, allo scopo di incrementare la resistenza alla levigabilità degli aggregati e pertanto limitare il degrado delle caratteristiche funzionali iniziali del manto stradale con conseguenti benefici in termini di aderenza. Lo spessore dello strato viene mantenuto pari a 4 cm come da progetto preliminare a base di gara.
2. Impiego di uno strato di BINDER HARD ANTIORMAIAMENTO dello spessore di 6 cm, in sostituzione del Binder tradizionale previsto nel progetto preliminare a base di gara.
3. Impiego di uno strato di BASE RICICLATA A FREDDO CON EMULSIONE BITUMINOSA MODIFICATA, dello spessore di 15 cm, in sostituzione dello strato di Base tradizionale a caldo di 10 cm previsto a base di gara.
4. Realizzazione di uno strato di sottobase in MISTO CEMENTATO CON RICICLAGGIO IN SITO DELLA FONDAZIONE ESISTENTE dello spessore di 13 cm in sostituzione del misto cementato tradizionale dello spessore di 18 cm previsto nel progetto a base di gara.
5. Impiego di impianto mescolatore KMA 200, IMPIANTO MOBILE AD ALTA PRODUTTIVITÀ, da installarsi direttamente in cantiere per la produzione della miscela di inerti, cemento ed emulsione e per la realizzazione dello strato di base riciclata a freddo e dello strato di misto cementato riciclato.
6. Realizzazione dello strato di fondazione in misto granulare stabilizzato dello spessore di 30 cm anziché 20 cm previsti nel progetto a base di gara.

Sulla base delle migliorie sopra riportate, la sovrastruttura proposta, di tipo semirigido, prevista per la pavimentazione dell'asse principale, sarà costituita da:

- 4 cm Usura drenante con impiego del 10% di scorie d'altoforno
- 6 cm Binder Hard ad elevate resistenza all'ormaiamento
- 15 cm Base riciclata a freddo con emulsione bituminosa modificata
- 13 cm Sottobase in misto cementato con inerti riciclati dalla fondazione esistente
- 30 cm Fondazione in misto granulare stabilizzato

Tra lo strato di usura drenante e quello di binder sarà applicata una mano d'attacco impermeabilizzante con bitume modificato. In corrispondenza dei tratti in viadotto, la pavimentazione sarà composta dallo strato di usura drenante di spessore 4 cm e dallo strato di binder Hard antiormaiamento di spessore 6 cm, poggianti direttamente sulla soletta, mediante interposizione di uno strato di impermeabilizzazione.

VIABILITA' SECONDARIA (rampe, complanari e rotatorie):

1. **Impiego di USURA HARD ANTISDRUCCIOLO DI TIPO SMA 0-14 (SplittMastix Asphalt) dello spessore di 4 cm in sostituzione dello strato di Usura tradizionale previsto nel progetto preliminare a base di gara.**
2. **Impiego di uno strato di BINDER HARD ANTIORMAIAMENTO dello spessore di 6 cm, in sostituzione del Binder tradizionale previsto nel progetto preliminare a base di gara.**
3. **Realizzazione dello strato di fondazione in misto granulare stabilizzato dello spessore di 30 cm anziché 20 cm previsti nel progetto a base di gara.**

Sulla base delle migliorie sopra riportate, la sovrastruttura proposta, di tipo flessibile, prevista per la pavimentazione della viabilità secondaria, sarà costituita da:

- 4 cm Usura Hard Antisdrucchiole SMA 0-14
- 6 cm Binder Hard ad elevate resistenza all'ormaiamento
- 10 cm Base in conglomerato bituminoso
- 30 cm Fondazione in misto granulare stabilizzato

1.2 Impiego di scorie d'altoforno e fibre di cellulosa/vetro nel confezionamento delle miscele per lo strato di usura drenante

I materiali che originano dai processi di produzione dell'acciaio, quali le "scorie di altoforno" (Figura 1), in possesso delle caratteristiche idonee, se opportunamente gestiti rappresentano un'ottima risorsa sostitutiva o complementare dei prodotti derivanti dalle risorse naturali.



Figura 1 – Scorie d'altoforno

L'utilizzo delle scorie d'altoforno per la produzione di materie prime di qualità, raggiunge il doppio scopo di ridurre lo sfruttamento di risorse naturali limitate e contemporaneamente la formazione di potenziali rifiuti. A questi si aggiungono ulteriori benefici derivanti da alcune caratteristiche tecniche particolarmente adatte all'impiego in certe applicazioni, in particolare nella costruzione di strade.

I risultati delle prove di resistenza all'usura per attrito Los Angeles e Micro-Deval umida dimostrano che tali materiali possono essere impiegati in ogni strato della pavimentazione, anche in condizioni di traffico molto pesante; prove di spogliamento in acqua mostrano che l'accoppiamento tra inerte e legante è ottimo (non si verifica alcun distacco di pellicole). L'aggregato è quindi particolarmente adatto per il confezionamento del conglomerato bituminoso.

I valori del coefficiente di levigabilità accelerata ($CLA=0.56\div 0.59$) sono ampiamente maggiori dei minimi indicati dalla normativa e paragonabili o superiori a quelli ottenibili con i migliori materiali naturali (porfido e basalto).

Ciò dimostra che i prodotti derivati dalle scorie sono ottimi inerti per lo strato di usura e per i trattamenti superficiali e di irruvidimento.

Alla luce dei risultati delle prove condotte su tali aggregati artificiali, si può concludere pertanto che l'impiego di una percentuale del 10% di scorie d'altoforno nella miscela di conglomerato bituminoso drenante consente di ottenere un manto di usura meno soggetto al degrado delle caratteristiche di tessitura superficiale con il conseguente incremento della sicurezza di guida dovuta alle migliori caratteristiche di aderenza del manto stradale, che rimangono più stabili tempo, ed un aumento della durabilità delle pavimentazioni realizzate.

In aggiunta è previsto l'impiego di fibre di rinforzo di cellulosa/vetro aggiunte alla miscela, che conferiscono prestazioni meccaniche superiori in quanto creano al suo interno una struttura in grado di incrementarne la rigidità e la resistenza alla fessurazione e alla rottura per trazione.

1.3 Binder Hard antiormaiamento

Il conglomerato bituminoso per strato di collegamento ad elevata resistenza all'ormaiamento è una miscela costituita da aggregati lapidei, filler, bitume altamente modificato, stesa a caldo con apposita macchina vibrofinitrice. Il bitume speciale altamente modificato del tipo 25/55 impiegato possiede caratteristiche reologiche appositamente ottimizzate per conferire alla miscela una elevata resistenza alle deformazioni permanenti (danni per ormaiamento).

La miscela proposta presenta prestazioni superiori rispetto a quelle di una miscela di binder tradizionale, grazie all'azione del bitume modificato speciale ed ottimizzato per i danni da ormaiamento. Tale tipologia di danno, infatti, nel caso in esame è da tenere in particolare considerazione essenzialmente per due motivi:

- a) Lo strato di usura sovrastante è di tipo aperto, quindi con una rigidità inferiore rispetto ad un'usura di tipo chiuso; ne consegue che le azioni verticali indotte dal passaggio dei veicoli raggiungono lo strato di binder con tensioni maggiori, in quanto meno assorbiti dallo strato di usura;
- b) Lo strato di binder in corrispondenza dei viadotti è particolarmente predisposto a danni di ormaiamento, in quanto la presenza del supporto rigido della soletta riduce le tensioni di trazione alla base dello strato, ma amplifica le tensioni di compressione indotte dal passaggio dei mezzi pesanti.

Per tenere conto dell'incremento delle prestazioni meccaniche dello strato rispetto alla miscela prevista a base di gara, il coefficiente strutturale dello strato considerato ai fini del dimensionamento è stato incrementato del 15%. La maggior durabilità del conglomerato nel tempo e la riduzione dell'ormaiamento potranno dilatare gli interventi manutentivi e ridurre l'esposizione degli utenti alle interferenze con i cantieri stradali di ripristino, come meglio specificato nei paragrafi successivi.

1.4 Base riciclata a freddo con emulsione bituminosa modificata

Nel tempo, parallelamente ad una crescente sensibilità sulle problematiche di compatibilità ambientale, si è andata diffondendo con sempre maggiore frequenza l'esigenza, supportata sul piano legislativo, del reimpiego di materiali di recupero. Ciò con l'intento, da un lato, di ridurre i consumi energetici e di materie prime, dall'altro di limitare l'accumulo di rifiuti derivanti dalla demolizione o dal rifacimento di opere esistenti, con l'evidente vantaggio di ridurre il conferimento in discarica di materiali potenzialmente di ottima qualità ed utilizzabili nel settore delle costruzioni. In questo contesto si sono sviluppate tecniche di produzione di materiali riciclati a freddo (Figura 2), finalizzati all'impiego in strati di base di pavimentazioni di strade anche a medio e forte traffico. Tali materiali si configurano come uno specifico prodotto del più generico gruppo di materiali riciclati a freddo, che prevedono il reimpiego di fresato proveniente dalla demolizione di pavimentazioni bituminose esistenti mediante la miscelazione con emulsione bituminosa, cemento ed eventuali piccole quantità di inerti vergini. Nel caso in oggetto, essendo prevista la demolizione degli strati in conglomerato bituminoso

della sovrastruttura esistente, la tecnica del riciclaggio a freddo risulta particolarmente idonea allo scopo di ridurre i tempi di esecuzione dello strato, oltre ai trasporti e alla produzione di rifiuti.



Figura 2 – Sezione di un provino cilindrico di base riciclata a freddo con emulsione

I vantaggi ambientali dell'adozione di tecniche di riciclaggio a freddo risultano evidenti se si pensa, in particolare, alla riduzione del consumo di risorse non rinnovabili: tali tecniche consentono, infatti, di riutilizzare tutto il materiale proveniente dalla pavimentazione esistente. Non occorre quindi trovare apposite aree di deposito ed il volume del nuovo materiale d'apporto estratto da cave è ridotto al minimo. In tal modo si limitano le deturpazioni dell'ambiente, inevitabilmente causate dall'apertura di cave a cielo aperto e di cave di prestito. Nel caso del riutilizzo del fresato nel sito di produzione, viene inoltre drasticamente ridotta l'entità delle operazioni di trasporto, diminuendo significativamente i consumi energetici connessi, così come l'azione deleteria sulla rete viaria dovuta al transito dei mezzi di trasporto. I benefici ambientali, inoltre, non si esauriscono con la riduzione del consumo di risorse non rinnovabili, ma trovano ampia attuazione anche dal punto di vista del risparmio energetico: oltre alla riduzione del consumo di carburante per il trasporto, infatti, la riduzione del consumo globale di energia è legata soprattutto alla drastica diminuzione delle temperature di produzione del materiale rispetto ai processi produttivi delle tradizionali miscele di conglomerato bituminoso a caldo per l'impiego nei medesimi strati della pavimentazione. Le miscele tradizionali a caldo per uno strato di base, per la miscelazione con gli aggregati e per la successiva compattazione in opera, richiedono infatti che gli aggregati vengano riscaldati a temperature di 160 °C ed il bitume a temperature di circa 140°C. Tali miscele, inoltre, devono essere poste in opera a temperature superiori a 140°C per poter essere addensate fino ad ottenere la percentuale dei vuoti in sito richiesta in capitolato. Con la tecnologia dei conglomerati riciclati a freddo con emulsione gli aggregati, costituiti dal fresato e da limitate quantità di inerti vergini di integrazione, durante il confezionamento della miscela, vengono impiegati umidi e freddi, mentre l'emulsione bituminosa viene impiegata a circa 60 °C e la miscela viene stesa e costipata a temperatura ambiente. Sempre in tema di salute dell'ambiente e degli operatori durante le

lavorazioni, va poi segnalato che la tecnologia a freddo, evitando combustioni, evita sia i fumi che l'emissione di prodotti policiclici inevitabilmente connessi al riscaldamento del bitume.

Per quanto riguarda le prestazioni meccaniche di tali miscele, essendo l'impiego di materiali riciclati a freddo per la realizzazione di strati di base relativamente recente, e a causa dell'eterogeneità dei materiali fresati impiegati, di volta in volta risulta necessario verificare il rispetto di alcuni requisiti fondamentali. In particolare, l'assortimento granulometrico della miscela determina in maniera profonda le prestazioni meccaniche della miscela in opera. In particolare, si riescono ad ottenere performance meccaniche equivalenti o superiori a quelle di una tradizionale base a caldo mediante la messa a punto della curva granulometrica, agendo sulla tipologia e sulla quantità di eventuali aggregati vergini di integrazione, oltre naturalmente alla calibrazione del quantitativo di emulsione, di cemento e dell'umidità ottima di addensamento della miscela. La composizione controllata della miscela riesce a mantenere un buon livello di resistenza meccanica limitando al contempo la rigidità, a beneficio della resistenza a fatica, come mostrato da alcune esperienze i cui risultati sono di seguito riassunti. In Figura 3 e Figura 4 sono riportati, rispettivamente, l'andamento del modulo di rigidità a 20 °C e 2 Hz durante il tempo di maturazione della miscela e la curva di rottura per fatica, dalle quali si evince che il modulo finale si stabilizza intorno a 3500 MPa, valore non dissimile dalle rigidità usualmente raggiunte dalle tradizionali miscele di conglomerato bituminoso a caldo, e che il numero di sollecitazioni tollerabile dalla base riciclata a freddo prima di rompersi a fatica non è inferiore a quello relativo ad una tradizionale base a caldo. In ragione di tali considerazioni, in fase di dimensionamento il coefficiente strutturale dello strato sarà cautelativamente considerato pari a 0.30, leggermente inferiore rispetto al valore di 0.35 considerato per la base tradizionale a caldo.

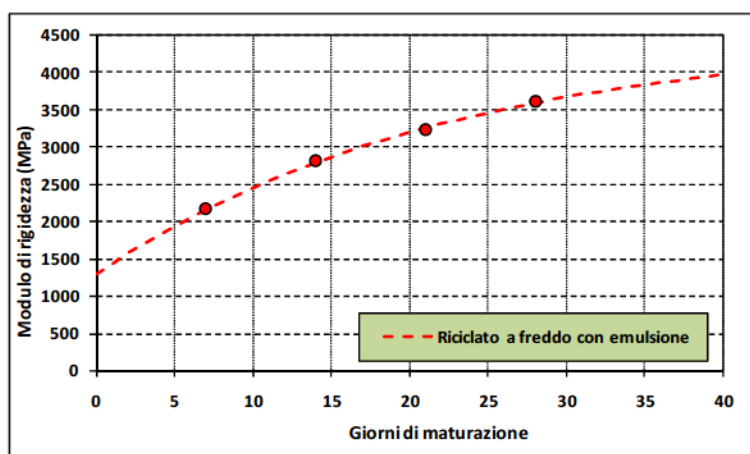


Figura 3 – Andamento del modulo di rigidità del riciclato a freddo durante la maturazione del cemento

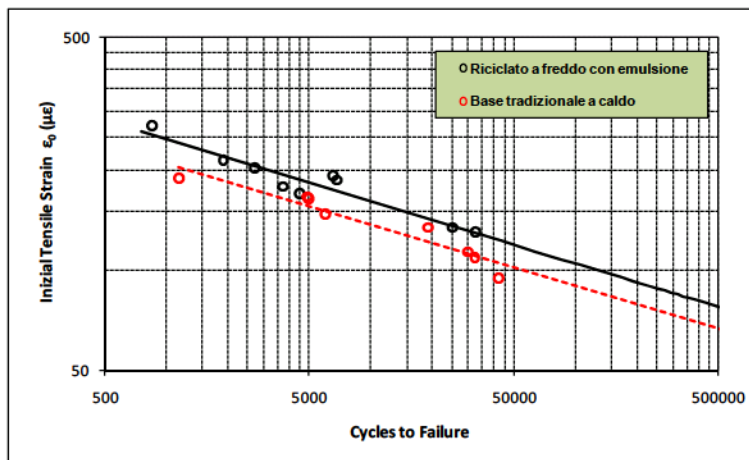


Figura 4 – Curve di resistenza a fatica relative alla miscela di riciclato a freddo con emulsione e di un conglomerato a caldo per strato di base tradizionale

Dal confronto delle curve di fatica, è possibile ricavare alcune importanti indicazioni. Ad esempio, è possibile constatare come nel range delle deformazioni operative che normalmente si riscontrano alla base dello strato, tra i 100 e i 150 μstrain , le miscele di conglomerato tradizionale a caldo abbiano durate a fatica inferiori mediamente del 40% rispetto alla miscela di riciclato a freddo con emulsione, grazie alla maggiore flessibilità di quest'ultima tipologia di miscela.

La proposta si completa con la previsione di impiegare emulsione bituminosa a base di bitume modificato, al fine di incrementare ulteriormente le prestazioni meccaniche dello strato sia in termini di resistenza a trazione indiretta che di resistenza a fatica, a beneficio della durabilità dello strato. Inoltre, lo spessore dello strato è stato incrementato da 10 cm (previsti nel progetto a base di gara) a 15 cm, con il duplice obiettivo di incrementare la rigidità flessionale dello strato, e di evitare possibili problemi di compattazione dello strato a causa dello spessore troppo ridotto rispetto alla massima dimensione dell'inerte (30 mm).

L'incremento dello spessore dello strato (+50%), a fronte del mantenimento di un coefficiente strutturale relativamente elevato, garantirà una maggior durabilità dello strato nel tempo e la riduzione dei danni per fatica, potendo dilatare gli interventi manutentivi, come meglio specificato nei paragrafi successivi.

1.5 Misto cementato riciclato in sito

Lo strato di misto cementato già previsto a base di gara ha effetti di netto miglioramento di tutta la sovrastruttura in termini di resistenza a fatica, in quanto assorbe buona parte delle tensioni, a beneficio degli strati superiori, e rende più graduale il "salto" di rigidità dallo strato di base allo strato di fondazione in misto granulare sciolto. Tuttavia, il misto cementato può far sorgere problemi di eccessiva rigidità dello strato, che potrebbe dar luogo ad una eccessiva concentrazione di tensioni verticali negli strati superiori e successivamente a fenomeni di ritiro.

Per rendere ancor più graduale la variazione di rigidità dagli strati superiori alla fondazione, la soluzione migliorativa proposta consiste nella rimodulazione degli spessori di base e sottobase, mantenendo inalterato lo spessore complessivo dei due strati, dall'originale configurazione 10 cm base a caldo +18 cm misto cementato alla nuova configurazione 15 cm base riciclata a freddo + 13 cm misto cementato (rimanendo invariato lo spessore complessivo di 28 cm). Viene quindi ridotto lo spessore dello strato di misto cementato, più rigido, a favore dello strato sovrastante in riciclato a freddo, più flessibile. La nuova configurazione proposta, pertanto, conferisce all'insieme dei due strati una maggiore deformabilità senza pregiudicare la resistenza a trazione alla base dello strato. Inoltre, al fine di ridurre ulteriormente il rischio di fessurazioni per eccessiva rigidità dello strato in misto cementato, lo spessore dello strato di fondazione sottostante in misto granulare sarà incrementato di 10 cm (da 20 cm previsti a base di gara a 30 cm), in modo da incrementare la portanza del supporto e ridurre le tensioni di trazione alla base dello strato.

Nel caso specifico, inoltre, si prevede l'impiego dei materiali granulari provenienti dalla demolizione della fondazione attualmente esistente, costituita da inerti di adeguata qualità e classe (A1 o A2), opportunamente vagliati, corretti granulometricamente ed accantonati nelle aree di cantiere, al fine di consentire il confezionamento della miscela direttamente in sito, attraverso un impianto mobile installato in cantiere.

La soluzione tecnologica sopra riportata permette di incrementare la durabilità dell'intera pavimentazione, compresi gli strati superiori in conglomerato bituminoso, riducendo i tempi di realizzazione grazie al confezionamento in sito con impianto mobile.

1.6 Impianto mobile per la produzione della base riciclata a freddo con emulsione e dello strato di sottobase in misto cementato riciclato

Per il confezionamento del conglomerato bituminoso riciclato a freddo con emulsione e del misto cementato riciclato, viene proposto l'utilizzo dell'impianto mobile KMA 220, il quale verrà installato nelle immediate vicinanze del cantiere, in modo da ridurre tempi di trasporto.

L'impianto è dotato di un sistema di microprocessori che consente il preciso dosaggio ed il monitoraggio in continuo dei vari componenti la miscela. Rispetto al riciclaggio in sito con macchina riciclatrice, l'impiego dell'impianto mobile KMA assicura:

- Migliore omogeneità delle miscele;
- Possibilità di impiego del materiale riciclato opportunamente selezionato in classi granulometriche in modo da limitare al minimo l'apporto di materiale d'integrazione per la produzione della miscela di progetto;
- Possibilità di variare costantemente e rapidamente la composizione della miscela finale, modificando all'occorrenza il dosaggio dell'eventuale aggregato di integrazione;
- Possibilità di variare in corso d'opera il dosaggio del legante (emulsione bituminosa e cemento) e dell'eventuale acqua di costipazione;

- Il mescolatore a doppio albero permette un vero e proprio impasto della miscela e quindi un prodotto finale più omogeneo;
- Non è necessario stendere sullo strato da miscelare il legante idraulico e quindi non si hanno polveri libere in cantiere;
- Maggiore possibilità di controllo della produzione al fine di garantire un prodotto finale costante ed omogeneo;
- Possibilità di misurare in maniera precisa e puntuale lo spessore della miscela applicata con vibrofinitrice;
- Possibilità di fermare la produzione qualora le condizioni meteorologiche risultassero non idonee alla lavorazione;
- Minor numero di mezzi in cantiere;

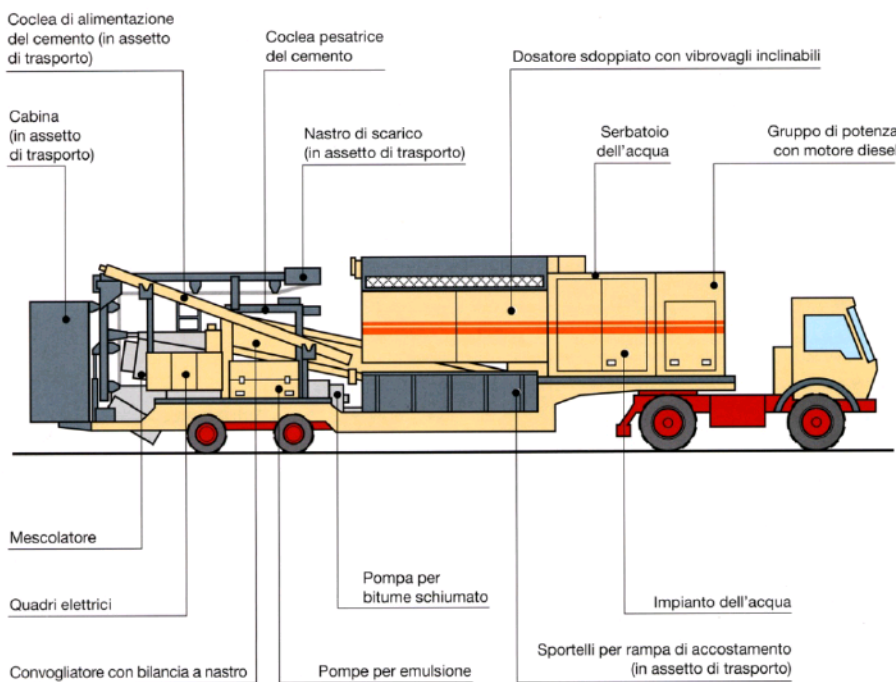
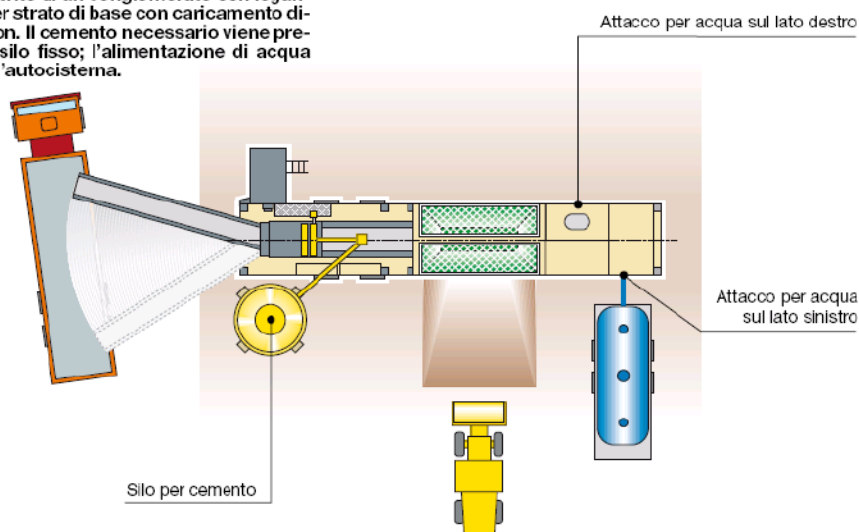


Figura 5 – Configurazione dell'impianto mobile

La concezione avanguardia dell'impianto mescolatore KMA 220 si distingue per la sua mobilità: è possibile spostarlo agevolmente da cantiere a cantiere ed installarlo in tempo brevissimo senza nessuna opera di fondazione; permette la realizzazione di miscele con materiali riciclati o vergini; la possibilità di produrre il materiale in prossimità del cantiere di lavoro. L'impianto mobile KMA 220 ha una produzione oraria fino a 180 T/h, con un nastro di scarico orientabile permette di caricare più camion consecutivamente senza interrompere il ciclo di produzione della miscela. Ogni sei minuti viene caricato un camion.

Confezionamento di un conglomerato con legante idraulico per strato di base con caricamento diretto su camion. Il cemento necessario viene prelevato da un silo fisso; l'alimentazione di acqua avviene da un'autocisterna.



Confezionamento di un conglomerato a freddo con bitume caldo che viene schiumato nell'impianto ed iniettato nel mescolatore.

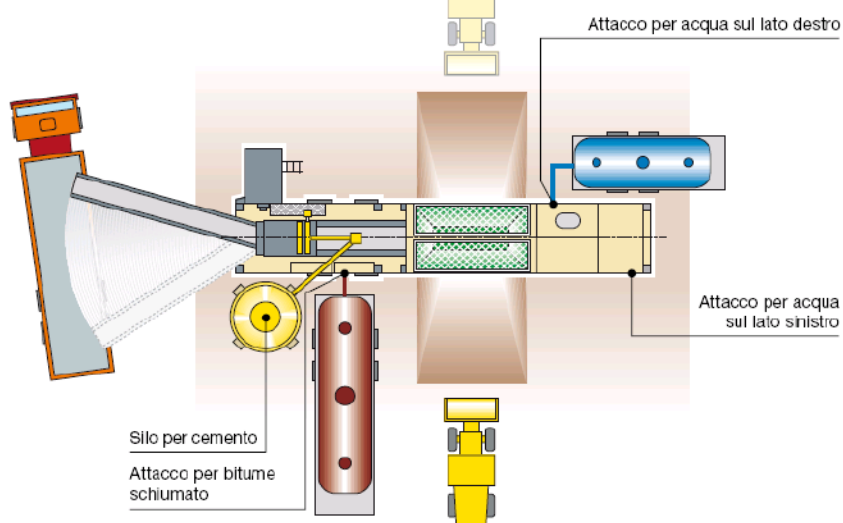


Figura 6 –Una delle molteplici disposizioni dei mezzi durante la produzione di un misto cementato e di un conglomerato bituminoso riciclato a freddo

La macchina è studiata all'insegna della massima facilità e comodità d'uso. La postazione di comando offre un'ergonomia totale: grazie alla razionale disposizione dei comandi e delle spie luminose del quadro di comando a microprocessore l'operatore ha sempre tutto sotto controllo. Non si deve far altro che preimpostare la quantità di acqua, emulsione, cemento per ottenere una corretta e sicura miscela. Un potente mescolatore bialbero a funzionamento continuo provvede a mescolare omogeneamente le frazioni di inerti con i leganti. Le sue palette sono regolabili separatamente e possono essere sostituite singolarmente. Il prodotto di input della filiera produttiva può consistere nei

più vari materiali da costruzione: si possono cioè utilizzare materiali riciclati frantumati come anche miscele di inerti minerali vergini combinandoli con leganti bituminosi delle più diverse tipologie.

Le qualità ambientali del macchinario sono tuttavia dimostrabili anche osservando come il consumo energetico sia abbattuto per mezzo dell'adozione di un motore ecologico capace di ridurre al minimo il consumo di carburante (il macchinario ha ottenuto omologazione EPA II) e di fornire, grazie ad un serbatoio di dimensioni elevate, un'autonomia di funzionamento di circa due giorni.

1.7 Strato di Usura Hard SMA antisdrucchiolo (viabilità secondaria)

Lo splittmastix (SMA) è un conglomerato bituminoso per strato di usura ad elevate prestazioni caratterizzato dalla presenza di una elevata quantità di graniglia e da un "mastic" costituito da bitume altamente modificato, filler, e microfibre stabilizzanti in cellulosa. La curva discontinua di questo conglomerato, chiuso e totalmente impermeabile agli strati sottostanti, unitamente alla pezzatura dell'aggregato grosso con diametro massimo 14 mm, è appositamente studiata per migliorare l'aderenza e impermeabilizzare la struttura sottostante.

Le particolari caratteristiche granulometriche e litologiche (basalti di I classe) degli inerti impiegati, unitamente ad un alto contenuto di legante, consente a questo tipo di pavimentazione di fornire prestazioni di elevato livello in termini di durabilità, stabilità e resistenza alle deformazioni, rugosità superficiale e resistenza all'ormaiamento, garantendo un incremento della durabilità dello strato ed una conseguente riduzione degli interventi manutentivi rispetto ad una miscela di usura tradizionale.

Tali aspetti di durabilità, rivestono particolare importanza per la funzionalità dello strato di usura nell'ambito della viabilità secondaria (rampe, rotoatorie e complanari), in quanto il contesto di traffico per tale viabilità è caratterizzato da traffico pesante, da velocità di percorrenza medio/basse (con conseguente riduzione della frequenza di sollecitazione e quindi del modulo di rigidità del materiale) e dall'amplificazione delle tensioni verticali e tangenziali indotte dai pneumatici alla superficie della pavimentazione, dovute alle elevate curvature in rotoatoria e sulle rampe, dove un'usura tradizionale sarebbe soggetta con più probabilità a fenomeni di ormaiamento per scorrimenti viscosi. Anche in termini di sicurezza, lo SMA garantisce maggiori coefficienti di aderenza, con benefici per gli utenti soprattutto in corrispondenza di curvature elevate delle traiettorie in rotoatoria e sulle rampe.

2 DIMENSIONAMENTO DELLE PAVIMENTAZIONI E CONFRONTO PRESTAZIONALE TRA SOLUZIONE A BASE GARA E SOLUZIONE MIGLIORATIVA

2.1 Metodo di calcolo

La metodologia di dimensionamento adottata nell'ambito del progetto preliminare a base di gara (*AASHTO Guide Design of Pavement Structures*) viene mantenuta per il calcolo della sovrastruttura proposta e per il confronto tecnico-economico relativo alla durabilità delle due soluzioni.

La sovrastruttura a base di gara è stata sottoposta a nuova verifica, utilizzando ipotesi e metodologie comuni al dimensionamento della soluzione migliorativa proposta, al fine di operare un corretto confronto tra le due sovrastrutture a parità di condizioni.

Per meglio comprendere le operazioni di dimensionamento mostrate nei successivi paragrafi, è utile riportare alcuni passaggi analitici che stanno a monte dell'espressione fondamentale di dimensionamento.

L'indice assunto dall'AASHTO per valutare il decadimento delle sovrastrutture è il **PSI - Present Serviceability Index**. Tale indice è funzione della media delle variazioni di pendenza del profilo, della profondità delle ormaie, della superficie delle buche e dei rattoppi, o di altre lesioni riferite all'unità di superficie. I valori di PSI variano teoricamente dal valore ottimo di 5 al valore limite di 0 quando l'efficienza della pavimentazione è nulla. Tuttavia, il valore all'inizio della vita utile non supera il valore 4.2 a causa delle inevitabili imperfezioni costruttive, mentre valori inferiori a 1-1.5 non sarebbero accettabili poiché sarebbero compromessi il livello di servizio e la sicurezza della strada.

Il valore di PSI in corrispondenza di N passaggi di una data tipologia di asse è dato da:

$$PSI = PSI_i - (4.2 - 1.5) \cdot \left(\frac{N}{\rho} \right)^\beta \quad [1]$$

dove PSI_i è il valore di PSI all'inizio della vita utile della pavimentazione

4.2-1.5 rappresenta la differenza tra il PSI iniziale (assunto mediamente pari a 4.2 per tener conto delle inevitabili imperfezioni costruttive) e quello che si ha quando si ritiene che la pavimentazione sia tanto ammalorata da dover essere rifatta.

N è il numero di passaggi della data tipologia di asse

β e ρ sono due funzioni dell'indice di spessore della sovrastruttura e dei carichi:

$$\beta = 0.40 + \frac{0.081 \cdot (L_1 + L_2)^{3.23}}{(SN / 2.54 + 1)^{5.19} \cdot L_2^{3.23}} \quad [2]$$

$$\rho = 5.39 + 9.36 \log(SN / 2.54 + 1) - 4.79 \log(L_1 + L_2) + 4.33 \log(L_2) \quad [3]$$

dove L_1 è il carico agente sull'asse in [kip], L_2 è un termine che assume valore 1, 2 o 3 rispettivamente se l'asse è singolo, tandem o tridem

SN è l'indice di spessore (*Structural Number*) della pavimentazione espresso in pollici

Ponendo, per l'asse standard da 18 kip (8.2 t), $L_1=18$ e $L_2=1$, e sostituendo le espressioni [2] e [3] all'interno della [1], si ottiene l'espressione [4] che sta alla base della relazione generale tra il numero di passaggi dell'asse standard tollerabile durante la vita utile e l'indice strutturale della pavimentazione:

$$\text{Log}N_{18} = 9,36 \cdot \text{Log}(SN / 2.54 + 1) - 0,20 + \frac{\text{Log}\left(\frac{PSI_i - PSI_f}{4,2 - 1,5}\right)}{0,4 + \frac{1094}{(SN / 2.54 + 1)^{5,19}}} \quad [4]$$

Scrivendo la formula [4] per l'asse standard da 18 kip e per il generico asse x , e ponendo l'uguaglianza in termini di danno e quindi di PSI_f finale, si ottengono le seguenti relazioni, indicate dalla metodologia AASHTO, per il calcolo dei fattori di equivalenza EALF (*Equivalent Axle Load Factor*): l'EALF rappresenta il rapporto tra il numero di passaggi dell'asse standard da 18 kip (o da 8.2 t) ed il numero di passaggi del generico asse x che comporta lo stesso danno alla sovrastruttura.

$$EALF_x = \frac{N_{18}}{N_x} \quad [5]$$

$$\log\left(\frac{N_x}{N_{18}}\right) = 4.79 \log(18 + 1) - 4.79 \log(L_x + L_2) + 4.33 \log(L_2) + \frac{G_t}{\beta_x} - \frac{G_t}{\beta_{18}} \quad [6]$$

con $G_t = \log \frac{4.2 - PSI_f}{4.2 - 1.5}$ [7]

$$\beta_x = 0.40 + \frac{0.081 \cdot (L_x + L_2)^{3.23}}{(SN / 2.54 + 1)^{5.19} \cdot L_2^{3.23}} \quad [8]$$

Tali relazioni consentono di ottenere i coefficienti di equivalenza tra gli assi di progetto e l'asse standard, in funzione delle caratteristiche strutturali della pavimentazione sottoposta a verifica, e di convertire quindi il numero di passaggi di progetto degli assi reali nel numero equivalente di passaggi dell'asse standard, come meglio specificato nei successivi paragrafi. Si noti che secondo le espressioni sopra riportate, i coefficienti di equivalenza sono funzione, tramite SN, delle caratteristiche strutturali della sovrastruttura, e variano quindi in base alla pavimentazione da verificare: il calcolo del numero di passaggi dovrà quindi essere eseguito per ciascuna ipotesi progettuale sottoposta a verifica.

2.2 Analisi del traffico di progetto

Per l'analisi dei carichi transitanti durante la vita utile della sovrastruttura, si continua a far riferimento alle ipotesi assunte dal progetto preliminare in termini di TGM, tasso di crescita annuo del traffico e percentuale dei veicoli commerciali. Lo spettro di traffico ipotizzato è quello relativo alla tipologia di strada extraurbana principale o secondaria a forte traffico, secondo le indicazioni del Catalogo delle Pavimentazioni del CNR (B.U. n.178/95)

Il numero di passaggi di veicoli commerciali è dato da:

$$n_{tot} = gg \cdot TGM \frac{(1+r)^n - 1}{r} \cdot p_d \cdot p \cdot pl \cdot d \quad [9]$$

con	gg	numero di giorni lavorativi dell'anno = 300
	TGM	traffico giornaliero medio sull'intera carreggiata = 43390 veicoli/giorno
	r	tasso di crescita annuo = 2%
	n	anni di vita utile = 20
	p _d	aliquota di traffico per direzione più carica = 50%
	p	percentuale di veicoli commerciali = 4%
	pl	aliquota di veicoli commerciali presenti sulla corsia di marcia normale = 0.95
	d	coefficiente di dispersione delle traiettorie = 0.8

da cui

$$n_{tot} = 300 \cdot 43390 \frac{(1+0.02)^{20} - 1}{0.02} \cdot 0.5 \cdot 0.04 \cdot 1 \cdot 0.80$$

pari a circa **4.807.000 passaggi di veicoli commerciali** durante l'intera vita utile della pavimentazione sulla corsia più carica.

La seguente Tabella 1 riporta, unitamente allo spettro di traffico di progetto, la composizione degli assi ed il numero di passaggi per ciascuna classe di veicoli commerciali (dati dal numero di passaggi totali moltiplicati per la corrispondente percentuale) durante la vita utile della viabilità principale.

Veicoli commerciali tipo	Percentuale (%)	N° passaggi totali	Distribuzione carichi per asse [t]
1	0.00	0	1 12
2	13.10	629,774	1.5 3
3	39.50	1,898,938	4 8
4	10.50	504,781	5 11
5	7.90	379,788	4 8 8
6	2.60	124,993	6 10 10
7	2.60	124,993	4 9 8 8
8	2.50	120,186	6 10 10 10
9	2.60	124,993	4 8 8 8 8
10	2.50	120,186	6 9 9 10 10
11	2.60	124,993	4 10 8 8 8
12	2.60	124,993	6 11 9 9 9
13	0.50	24,037	5 12 13 13 13
14	0.00	0	4 8
15	0.00	0	6 10
16	10.50	504,781	5 8
TOTALE	100.00	4,807,439	

Tabella 1 – Spettro di traffico e calcolo del numero di passaggi dei mezzi commerciali durante la vita utile – viabilità principale

Per la viabilità secondaria, si ha invece:

$$n_{tot} = gg \cdot TGM \frac{(1+r)^n - 1}{r} \cdot p \cdot d \quad [9bis]$$

- con gg numero di giorni lavorativi dell'anno = 300
- TGM traffico giornaliero medio sulla corsia più carica = 7000 veicoli/giorno
- r tasso di crescita annuo = 2%
- n anni di vita utile = 20
- p percentuale di veicoli commerciali = 4%
- d coefficiente di dispersione delle traiettorie = 0.8

da cui

$$n_{tot} = 300 \cdot 7000 \frac{(1+0.02)^{20} - 1}{0.02} \cdot 0.04 \cdot 0.80$$

pari a circa **1.633.000 passaggi di veicoli commerciali** durante l'intera vita utile della pavimentazione.

La seguente Tabella 2 riporta, unitamente allo spettro di traffico di progetto, la composizione degli assi ed il numero di passaggi per ciascuna classe di veicoli commerciali (dati dal numero di passaggi totali moltiplicati per la corrispondente percentuale) durante la vita utile della viabilità principale.

Veicoli commerciali tipo	Percentuale (%)	N° passaggi totali	Distribuzione carichi per asse [t]
1	0.00	0	1 12
2	13.10	213,895	1.5 3
3	39.50	644,949	4 8
4	10.50	171,442	5 11
5	7.90	128,990	4 8 8
6	2.60	42,452	6 10 10
7	2.60	42,452	4 9 8 8
8	2.50	40,820	6 10 10 10
9	2.60	42,452	4 8 8 8 8
10	2.50	40,820	6 9 9 10 10
11	2.60	42,452	4 10 8 8 8
12	2.60	42,452	6 11 9 9 9
13	0.50	8,164	5 12 13 13 13
14	0.00	0	4 8
15	0.00	0	6 10
16	10.50	171,442	5 8
TOTALE	100.00	1,632,783	

Tabella 2 – Spettro di traffico e calcolo del numero di passaggi dei mezzi commerciali durante la vita utile – viabilità secondaria

2.3 Verifica della sovrastruttura

La sovrastruttura di progetto, di tipo semirigido, prevista per la pavimentazione dell'asse principale, è costituita da:

- 4 cm Usura drenante con impiego del 10% di scorie d'altoforno
- 6 cm Binder Hard ad elevate resistenza all'ormaiamento
- 15 cm Base riciclata a freddo con emulsione bituminosa modificata
- 13 cm Sottobase in misto cementato con inerti riciclati dalla fondazione esistente
- 30 cm Fondazione in misto granulare stabilizzato

Tra lo strato di usura e quello di binder sarà applicata una mano d'attacco impermeabilizzante con bitume modificato.

Per la viabilità secondaria è invece prevista la seguente sovrastruttura, di tipo flessibile:

- 4 cm Usura Hard Antidrucciolo SMA 0-14
- 6 cm Binder Hard ad elevate resistenza all'ormaiamento
- 10 cm Base in conglomerato bituminoso
- 30 cm Fondazione in misto granulare stabilizzato

Per il calcolo del numero di passaggi dell'asse standard da 18 kip che la pavimentazione riesce a garantire durante la vita utile, si continuerà ad impiegare la relazione del metodo AASHTO, che lega il numero di passaggi sopportabili dalla

pavimentazione all'indice di manutenzione PSI, alle caratteristiche strutturali della sovrastruttura ed al livello di affidabilità richiesto dal dimensionamento:

$$\text{Log}N_{18} = Z_r \cdot S_0 + 9,36 \cdot \text{Log}(SN / 2.54 + 1) - 0,20 + \frac{\text{Log}\left(\frac{PSI_i - PSI_f}{4,2 - 1,5}\right)}{0,4 + \frac{1094}{(SN / 2.54 + 1)^{5,19}}} + 2.32 \log(M_r) - 8.07 \quad [10]$$

- con
- $Z_r \cdot S_0$ deviazione standard nella predizione del traffico e della prestazione attribuita alla pavimentazione
 - PSI_i valore di PSI all'inizio della vita utile della pavimentazione
 - PSI_f valore di PSI alla fine della vita utile della pavimentazione
 - M_r modulo resiliente del sottofondo in [psi]
 - SN indice di spessore (*Structural Number*) in [cm]

L'indice di struttura, SN, è calcolato mediante le seguenti espressioni:

$$SN = SNSG / 2.54 + \sum_i a_i \cdot s_i \cdot d_i \quad [11]$$

$$SNSG = 3.51 \cdot \text{Log}(CBR) - 0.85 [\text{Log}(CBR)]^2 - 1.43 \quad [12]$$

- con
- a_i coefficiente strutturale dell'i-esimo strato, funzione delle caratteristiche meccaniche del materiale
 - s_i spessore dello strato i-esimo in pollici
 - d_i coefficiente di drenaggio dell'i-esimo strato
 - CBR indice CBR (%) del sottofondo

Le ipotesi assunte per il calcolo delle due pavimentazioni (intervento a base di gara ed intervento migliorativo proposto) secondo le relazioni sopra riportate sono:

- a) Deviazione standard S_0 pari a **0.45**
- b) Parametro di affidabilità Z_r pari a **-1.645**, corrispondente ad un livello di **affidabilità pari al 95%**, coerentemente alle indicazioni del Catalogo delle Pavimentazioni del CNR per le autostrade urbane, cautelativamente considerata tale vista l'importanza dell'infrastruttura in oggetto
- c) **PSI_i pari a 4.2** (per tenere conto delle inevitabili imperfezioni costruttive che si hanno in fase di realizzazione dell'opera, il PSI_i non può assumere il valore massimo teorico di 5)
- d) **PSI_f pari a 3**, coerentemente alle indicazioni del Catalogo delle Pavimentazioni del CNR le autostrade urbane, cautelativamente considerata tale vista l'importanza dell'infrastruttura in oggetto
- e) **CBR=7%**

- f) M_r pari a 70 MPa, secondo la ben nota correlazione di letteratura $M_r=10 \cdot CBR$, con M_r in [MPa]
- g) Coefficiente di drenaggio dello strato di fondazione in misto stabilizzato posto cautelativamente pari a 0.8, in quanto una pur minima influenza dell'acqua si può riscontrare negli strati non legati: in particolare, il valore di 0.8 corrisponde ad una qualità di drenaggio media, con una percentuale di tempo in cui si è prossimi alla condizione di saturazione pari al 30%.
- h) Coefficienti strutturali degli strati riportati nelle seguenti Tabella 3 e Tabella 4, rispettivamente per la sovrastruttura a base di gara e per quella relativa alla proposta migliorativa per la viabilità principale, ed in Tabella 5 e Tabella 6, rispettivamente per la sovrastruttura a base di gara e per quella relativa alla proposta migliorativa per la viabilità secondaria. Tali valori fanno riferimento a quelli più recentemente riscontrati nella letteratura di settore e possono essere correlati ai valori di modulo di rigidezza degli strati secondo le relazioni proposte da Ullidtz ("Pavement Analysis," Elsevier, N.Y., 1987, pp. 221-223):

VIABILITA' PRINCIPALE – SOLUZIONE A BASE DI GARA							
STRATO	Spessore s_i (cm)	Coeff. Dren. d_i	Coeff. Strutt. a_i	$S_i d_i a_i$ (cm)	SNSG	CBR (%)	M_r (psi)
Usura drenante	4	1	0.33	1.32	-	-	-
Binder tradizionale	6	1	0.40	2.40	-	-	-
Base tradizionale	10	1	0.35	3.50	-	-	-
Sottobase in misto cementato	18	1	0.15	2.70	-	-	-
Fondazione in misto granulare stabilizzato	20	0.8	0.12	1.87	-	-	-
Sottofondo	-	-	-	-	2.36	7	10145
Structural Number (cm)					14.1		

Tabella 3 – VIABILITA' PRINCIPALE – Parametri strutturali della pavimentazione di progetto a base di gara

VIABILITA' PRINCIPALE – SOLUZIONE MIGLIORATIVA							
STRATO	Spessore s_i (cm)	Coeff. Dren. d_i	Coeff. Strutt. a_i	$S_i d_i a_i$ (cm)	SNSG	CBR (%)	M_r (psi)
Usura drenante con scorie d'altoforno	4	1	0.33	1.32	-	-	-
Binder Hard ad elevata resistenza all'ormaiamento	6	1	0.46	2.76	-	-	-
Base riciclata a freddo con emulsione bituminosa modificata	15	1	0.30	4.50	-	-	-
Sottobase in misto cementato riciclato	13	1	0.15	1.95	-	-	-
Fondazione in misto granulare stabilizzato	30	0.8	0.12	2.88	-	-	-
Sottofondo	-	-	-	-	2.36	7	10145
Structural Number (cm)					15.7		

Tabella 4 – VIABILITA' PRINCIPALE – Parametri strutturali della pavimentazione migliorativa

VIABILITA' SECONDARIA – SOLUZIONE A BASE DI GARA							
STRATO	Spessore s_i (cm)	Coeff. Dren. d_i	Coeff. Strutt. a_i	$S_i d_i a_i$ (cm)	SNSG	CBR (%)	M_r (psi)
Usura tradizionale	4	1	0.43	1.72	-	-	-
Binder tradizionale	6	1	0.40	2.40	-	-	-
Base tradizionale	10	1	0.35	3.50	-	-	-
Fondazione in misto granulare stabilizzato	20	0.8	0.12	1.92			
Sottofondo	-	-	-	-	2.36	7	10145
Structural Number (cm)					11.9		

Tabella 5 – VIABILITA' SECONDARIA – Parametri strutturali della pavimentazione di progetto a base di gara

VIABILITA' SECONDARIA – SOLUZIONE MIGLIORATIVA							
STRATO	Spessore s_i (cm)	Coeff. Dren. d_i	Coeff. Strutt. a_i	$S_i d_i a_i$ (cm)	SNSG	CBR (%)	M_r (psi)
Usura Hard SMA 0-14 antisdrucchiolo	4	1	0.45	1.80	-	-	-
Binder Hard ad elevata resistenza all'ormaiamento	6	1	0.46	2.76	-	-	-
Base tradizionale	10	1	0.35	3.50	-	-	-
Fondazione in misto granulare stabilizzato	30	0.8	0.12	2.88			
Sottofondo	-	-	-	-	2.36	7	10145
Structural Number (cm)					13.3		

Tabella 6 – VIABILITA' SECONDARIA – Parametri strutturali della pavimentazione migliorativa

Noto il valore dello Structural Number è possibile calcolare, utilizzando i coefficienti di equivalenza *EALF* (funzione di SN secondo le relazioni [5], [6], [7] e [8]), il numero di passaggi equivalenti all'asse standard durante la vita utile (W_{18}) per ciascuna delle tipologie di assi. Tale valore deve essere messo a confronto con il numero massimo di passaggi dell'asse equivalente che la pavimentazione riesce a garantire prima di raggiungere un livello di servizio non più accettabile (N_{18}), calcolato con l'espressione [2]. Il numero di passaggi equivalenti è riepilogato, rispettivamente per la sovrastruttura a base di gara e per quella relativa alla proposta migliorativa, nelle seguenti Tabella 7 e Tabella 8 per la viabilità principale ed in Tabella 9 e Tabella 10 per la viabilità secondaria:

VIABILITA' PRINCIPALE – SOLUZIONE A BASE DI GARA									
Tipo asse	N. passaggi	L _x (kN)	L _x (kip)	L ₂	G _t	λ _x	λ ₁₈	EALF	Numero passaggi eq.
singolo	0	10	2.2	1	-0.352	0.400	0.462	0.000	0
singolo	629,774	15	3.3	1	-0.352	0.401	0.462	0.001	665
singolo	0	20	4.4	1	-0.352	0.401	0.462	0.003	0
singolo	629,774	30	6.6	1	-0.352	0.403	0.462	0.016	10,023
singolo	2,653,706	40	8.8	1	-0.352	0.407	0.462	0.053	139,830
singolo	1,033,599	50	11.0	1	-0.352	0.414	0.462	0.135	139,063
singolo	490,359	60	13.2	1	-0.352	0.424	0.462	0.287	140,968
singolo	2,653,706	80	17.6	1	-0.352	0.458	0.462	0.910	2,414,229
singolo	124,993	90	19.8	1	-0.352	0.483	0.462	1.417	177,107
singolo	485,551	100	22.0	1	-0.352	0.515	0.462	2.067	1,003,626
singolo	629,774	110	24.1	1	-0.352	0.555	0.462	2.862	1,802,414
singolo	24,037	120	26.3	1	-0.352	0.602	0.462	3.804	91,432
tandem	629,774	160	35.1	2	-0.352	0.458	0.462	1.251	788,106
tandem	120,186	180	39.5	2	-0.352	0.483	0.462	1.949	234,248
tandem	365,365	200	43.9	2	-0.352	0.515	0.462	2.843	1,038,814
tridem	124,993	240	52.7	3	-0.352	0.458	0.462	1.508	188,490
tridem	124,993	270	59.3	3	-0.352	0.483	0.462	2.349	293,570
tridem	24,037	390	85.6	3	-0.352	0.660	0.462	8.119	195,166

N_{8,2} = 8,657,750

Tabella 7 – VIABILITA' PRINCIPALE – Numero di passaggi equivalenti dell'asse standard da 8.2 t durante la vita utile per la soluzione a base di gara

VIABILITA' PRINCIPALE – SOLUZIONE MIGLIORATIVA									
Tipo asse	N. passaggi	L _x (kN)	L _x (kip)	L ₂	G _t	λ _x	λ ₁₈	EALF	Numero passaggi eq.
singolo	0	10	2.2	1	-0.352	0.400	0.439	0.000	0
singolo	629,774	15	3.3	1	-0.352	0.400	0.439	0.001	607
singolo	0	20	4.4	1	-0.352	0.401	0.439	0.003	0
singolo	629,774	30	6.6	1	-0.352	0.402	0.439	0.015	9,198
singolo	2,653,706	40	8.8	1	-0.352	0.405	0.439	0.049	129,269
singolo	1,033,599	50	11.0	1	-0.352	0.409	0.439	0.126	130,055
singolo	490,359	60	13.2	1	-0.352	0.415	0.439	0.273	133,997
singolo	2,653,706	80	17.6	1	-0.352	0.437	0.439	0.905	2,401,550
singolo	124,993	90	19.8	1	-0.352	0.453	0.439	1.448	181,000
singolo	485,551	100	22.0	1	-0.352	0.473	0.439	2.171	1,054,328
singolo	629,774	110	24.1	1	-0.352	0.498	0.439	3.086	1,943,539
singolo	24,037	120	26.3	1	-0.352	0.528	0.439	4.196	100,872
tandem	629,774	160	35.1	2	-0.352	0.437	0.439	1.245	783,967
tandem	120,186	180	39.5	2	-0.352	0.453	0.439	1.992	239,397
tandem	365,365	200	43.9	2	-0.352	0.473	0.439	2.987	1,091,294
tridem	124,993	240	52.7	3	-0.352	0.437	0.439	1.500	187,500
tridem	124,993	270	59.3	3	-0.352	0.453	0.439	2.400	300,023
tridem	24,037	390	85.6	3	-0.352	0.564	0.439	9.123	219,300

N_{8,2} = 8,905,895

Tabella 8 – VIABILITA' PRINCIPALE – Numero di passaggi equivalenti dell'asse standard da 8.2 t durante la vita utile per la soluzione migliorativa

VIABILITA' SECONDARIA – SOLUZIONE A BASE DI GARA									
Tipo asse	N. passaggi	L _x (kN)	L _x (kip)	L ₂	G _t	ϕ _x	ϕ ₁₈	EALF	Numero passaggi eq.
singolo	0	10	2.2	1	-0.352	0.400	0.535	0.000	0
singolo	213,895	15	3.3	1	-0.352	0.401	0.535	0.001	285
singolo	0	20	4.4	1	-0.352	0.402	0.535	0.004	0
singolo	213,895	30	6.6	1	-0.352	0.407	0.535	0.020	4,237
singolo	901,296	40	8.8	1	-0.352	0.416	0.535	0.064	57,822
singolo	351,048	50	11.0	1	-0.352	0.430	0.535	0.158	55,604
singolo	166,544	60	13.2	1	-0.352	0.452	0.535	0.324	53,913
singolo	901,296	80	17.6	1	-0.352	0.525	0.535	0.920	828,971
singolo	42,452	90	19.8	1	-0.352	0.580	0.535	1.359	57,696
singolo	164,911	100	22.0	1	-0.352	0.648	0.535	1.896	312,660
singolo	213,895	110	24.1	1	-0.352	0.734	0.535	2.539	543,160
singolo	8,164	120	26.3	1	-0.352	0.837	0.535	3.307	26,999
tandem	213,895	160	35.1	2	-0.352	0.525	0.535	1.265	270,611
tandem	40,820	180	39.5	2	-0.352	0.580	0.535	1.869	76,310
tandem	124,092	200	43.9	2	-0.352	0.648	0.535	2.608	323,623
tridem	42,452	240	52.7	3	-0.352	0.525	0.535	1.525	64,722
tridem	42,452	270	59.3	3	-0.352	0.580	0.535	2.253	95,635
tridem	8,164	390	85.6	3	-0.352	0.961	0.535	7.004	57,182

N_{8,2} = 2,829,431

Tabella 9 – VIABILITA' SECONDARIA – Numero di passaggi equivalenti dell'asse standard da 8.2 t durante la vita utile per la soluzione a base di gara

VIABILITA' SECONDARIA – SOLUZIONE MIGLIORATIVA									
Tipo asse	N. passaggi	L _x (kN)	L _x (kip)	L ₂	G _t	ϕ _x	ϕ ₁₈	EALF	Numero passaggi eq.
singolo	0	10	2.2	1	-0.352	0.400	0.484	0.000	0
singolo	213,895	15	3.3	1	-0.352	0.401	0.484	0.001	244
singolo	0	20	4.4	1	-0.352	0.401	0.484	0.003	0
singolo	213,895	30	6.6	1	-0.352	0.404	0.484	0.017	3,660
singolo	901,296	40	8.8	1	-0.352	0.410	0.484	0.056	50,725
singolo	351,048	50	11.0	1	-0.352	0.419	0.484	0.142	49,923
singolo	166,544	60	13.2	1	-0.352	0.433	0.484	0.300	49,890
singolo	901,296	80	17.6	1	-0.352	0.478	0.484	0.913	823,270
singolo	42,452	90	19.8	1	-0.352	0.512	0.484	1.394	59,199
singolo	164,911	100	22.0	1	-0.352	0.555	0.484	1.997	329,286
singolo	213,895	110	24.1	1	-0.352	0.608	0.484	2.722	582,203
singolo	8,164	120	26.3	1	-0.352	0.672	0.484	3.576	29,193
tandem	213,895	160	35.1	2	-0.352	0.478	0.484	1.256	268,750
tandem	40,820	180	39.5	2	-0.352	0.512	0.484	1.918	78,298
tandem	124,092	200	43.9	2	-0.352	0.555	0.484	2.747	340,831
tridem	42,452	240	52.7	3	-0.352	0.478	0.484	1.514	64,277
tridem	42,452	270	59.3	3	-0.352	0.512	0.484	2.311	98,127
tridem	8,164	390	85.6	3	-0.352	0.750	0.484	7.579	61,870

N_{8,2} = 2,889,747

Tabella 10 – VIABILITA' SECONDARIA – Numero di passaggi equivalenti dell'asse standard da 8.2 t durante la vita utile per la soluzione migliorativa

Applicando le espressioni [10], [11] e [12] si ottiene:

Viabilità principale:

Soluzione a base di gara:

$$\text{Log}N_{18} = -1.645 \cdot 0.45 + 9.36 \cdot \text{Log}(14.1/2.54 + 1) - 0.20 + \frac{\text{Log}\left(\frac{4.2-3}{4.2-1.5}\right)}{0.4 + \frac{1094}{(14.1/2.54 + 1)^{5.19}}} + 2.32 \log(10145) - 8.07 = 7.1750$$

da cui $N_{18} = 14.962.022 > 8.657.750$

Soluzione migliorativa proposta:

$$\text{Log}N_{18} = -1.645 \cdot 0.45 + 9.36 \cdot \text{Log}(15.7/2.54 + 1) - 0.20 + \frac{\text{Log}\left(\frac{4.2-3}{4.2-1.5}\right)}{0.4 + \frac{1094}{(15.7/2.54 + 1)^{5.19}}} + 2.32 \log(10145) - 8.07 = 7.4947$$

da cui $N_{18} = 31.238.942 > 8.905.895$

Viabilità secondaria:

Soluzione a base di gara:

$$\text{Log}N_{18} = -1.645 \cdot 0.45 + 9.36 \cdot \text{Log}(11.9/2.54 + 1) - 0.20 + \frac{\text{Log}\left(\frac{4.2-3}{4.2-1.5}\right)}{0.4 + \frac{1094}{(11.9/2.54 + 1)^{5.19}}} + 2.32 \log(10145) - 8.07 = 6.6753$$

da cui $N_{18} = 4.734.404 > 2.829.431$

Soluzione migliorativa proposta:

$$\text{Log}N_{18} = -1.645 \cdot 0.45 + 9.36 \cdot \text{Log}(13.3/2.54 + 1) - 0.20 + \frac{\text{Log}\left(\frac{4.2-3}{4.2-1.5}\right)}{0.4 + \frac{1094}{(13.3/2.54 + 1)^{5.19}}} + 2.32 \log(10145) - 8.07 = 6.9767$$

da cui $N_{18} = 9.477.245 > 2.889.747$

Per maggiore chiarezza, la seguente Tabella 11 riporta il confronto tra le tipologie di interventi a base di gara e quelli migliorativi proposti in termini di verifica del dimensionamento:

INTERVENTO		SN	N ₁₈	W ₁₈	Coeff. di sicurezza W ₁₈ /N ₁₈
VIABILITA' PRINCIPALE	PROGETTO	14.1	14.962.022	8.657.750	1.7
	PROPOSTA MIGLIORATIVA	15.7	31.238.942	8.905.895	3.5
VIABILITA' SECONDARIA	PROGETTO	11.9	4.734.404	2.829.431	1.7
	PROPOSTA MIGLIORATIVA	13.3	9.477.245	2.889.747	3.3

W₁₈ numero cumulato di passaggi del peso di 8,2 t nella vita utile
N₁₈ numero massimo di passaggi di assi da 8,2 t sopportabili dalla pavimentazione

Tabella 11 – Confronto sulla verifica del dimensionamento tra sovrastruttura di progetto e proposta migliorativa

Al fine di evidenziare l'incremento della funzionalità e della durabilità dell'opera che si ottiene con l'impiego delle soluzioni di intervento migliorative proposte rispetto a quelle previste nel progetto a base di gara, si riporta nella seguente Tabella 12 l'incremento del numero di passaggi di assi standard (N₁₈) sopportabile dalla pavimentazione relativa alla proposta migliorativa rispetto al progetto.

	N ₁₈			
	PROGETTO	PROPOSTA MIGLIORATIVA	INCREMENTO DELLA SOLUZIONE MIGLIORATIVA	
VIABILITA' PRINCIPALE	14.962.022	31.238.942	+16.276.920	+109%
VIABILITA' SECONDARIA	4.734.404	9.477.245	+4.742.841	+100%

Tabella 12 – Incremento del numero di passaggi di assi standard (N₁₈) sopportabile dalle pavimentazioni proposte

3 ANALISI DEI COSTI DI MANUTENZIONE SUL CICLO DI VITA

3.1 Evoluzione del livello di servizio delle pavimentazioni nel tempo e confronto sulle prestazioni residue al termine della vita utile di progetto

La metodologia AASHTO, impiegata in fase di verifica delle soluzioni progettuali, consente anche di porre a confronto l'intervento migliorativo proposto con il corrispondente intervento a base di gara, quantificando le performance strutturali della pavimentazione nel tempo ed i conseguenti costi di manutenzione ordinaria e straordinaria.

L'espressione [10], infatti, esprime la relazione tra il numero di passaggi dell'asse standard in un dato momento della vita della sovrastruttura ed il corrispondente indice PSI; dopo alcuni passaggi analitici, può essere scritta come:

$$\log(PSI_n) = \log(PSI_i - (PSI_i - PSI_f)) + \left(0,4 + \frac{1094}{\left(\frac{SN}{2.54} + 1\right)^{5,19}} \right) \left(\log(N) - Z_r \cdot S_0 - 9,36 \cdot \text{Log}\left(\frac{SN}{2.54} + 1\right) + 0,20 - 2,32 \log(M_r) + 8,07 \right) \quad [13]$$

dove PSI_n è il valore del PSI alla fine dell'n-esimo anno

N è il numero di passaggi dell'asse standard cumulati all'anno n-esimo.

N può essere calcolato a partire dal numero di passaggi dell'asse standard al primo anno di vita utile N_0 , partendo da un numero di passaggi di veicoli commerciali n_0 pari a:

Viabilità principale: $n_0 = gg \cdot TGM \cdot pd \cdot p \cdot pl \cdot d = 300 \cdot 43390 \cdot 0.5 \cdot 0.04 \cdot 0.95 \cdot 0.80 = 197858$

Viabilità secondaria $n_0 = gg \cdot TGM \cdot p \cdot d = 300 \cdot 7000 \cdot 0.04 \cdot 0.80 = 67200$

Conoscendo il valore di SN di ciascuna soluzione progettuale, può essere calcolato il valore del numero di passaggi dell'asse standard per il primo anno di vita utile con tabelle di calcolo dei fattori di equivalenza.

La seguente Tabella 13 riassume il numero di passaggi equivalenti dell'asse standard N_0 durante il primo anno di vita utile, sia per la soluzione migliorativa proposta che per quella a base di gara.

INTERVENTO		SN (cm)	n_0	N_0
VIABILITA' PRINCIPALE	PROGETTO	14.1	197.858	356.325
	PROPOSTA MIGLIORATIVA	15.7		366.537
VIABILITA' SECONDARIA	PROGETTO	11.9	67.200	116.450
	PROPOSTA MIGLIORATIVA	13.3		118.932

Tabella 13 – Numero di passaggi dei veicoli commerciali e dell'asse equivalente per le soluzioni di progetto e migliorative

Il numero di passaggi all'n-esimo anno N_n , viene calcolato mediante l'espressione:

$$N_n = N_0 \cdot (1+r)^n$$

dove r è il tasso di incremento medio annuo della motorizzazione, supposto ancora pari al 2%.

Il numero cumulato di passaggi dell'asse standard all'anno t viene calcolato come

$$N(t) = \sum_{n=0}^t N_n$$

che, sostituito nell'equazione [13], fornisce il valore del PSI all'anno t .

Questa operazione, ripetuta per ciascuno dei 20 anni dell'arco temporale considerato, ha condotto ai risultati illustrati in Figura 7, che mostra l'evoluzione del PSI negli anni, tenendo conto anche dell'incremento annuo del traffico. Come già evidenziato nelle sezioni precedenti, il PSI relativo sia alla sovrastruttura di progetto a base di gara che alla sovrastruttura migliorativa proposta non raggiunge, in entrambi i casi, il valore limite di accettabilità $PSI=3.0$ (al disotto del quale si renderebbe necessario il rifacimento dell'intera pavimentazione), ma la soluzione migliorativa giunge alla fine dell'arco temporale dei 20 anni con un valore di PSI superiore del 7% rispetto alla soluzione a base di gara, sia per l'asse principale che per la viabilità secondaria (miglioramento da $PSI=3.27$ a $PSI=3.51$ per l'asse principale e da $PSI=3.29$ a $PSI=3.52$ per la viabilità secondaria)

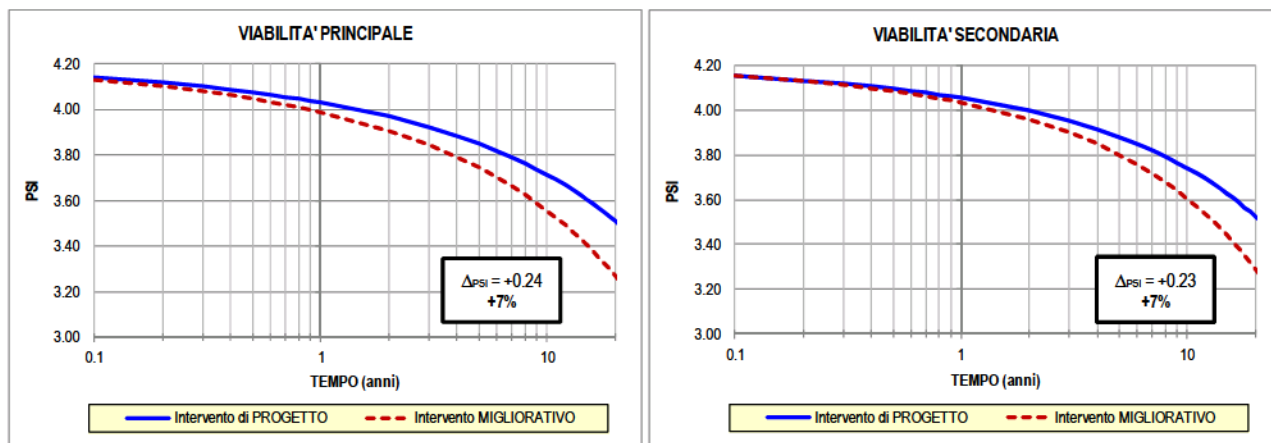


Figura 7 – Evoluzione dell'indice di manutenzione PSI durante i primi 20 anni di servizio delle due soluzioni a confronto

E' inoltre possibile fare alcune considerazioni su un altro importante indice di qualità manutentiva e di livello di servizio della pavimentazione: l'indice di regolarità internazionale IRI - *International Roughness Index*.

Il legame esistente tra PSI, noto per ciascun anno di vita della pavimentazione, ed il parametro di regolarità IRI, dato dalla seguente espressione:

$$IRI = \frac{1}{0.24} \ln\left(\frac{5}{PSI}\right)$$

[14]

permette di ricostruire l'andamento nel tempo della regolarità, come mostrato in Figura 8:

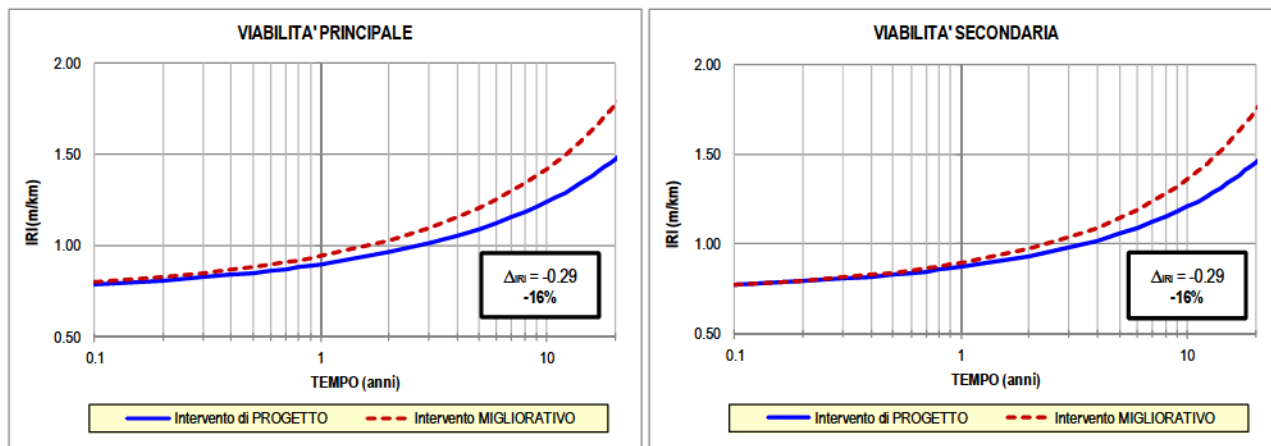


Figura 8 – Evoluzione dell'indice di regolarità IRI durante i primi 20 anni di servizio delle due soluzioni a confronto

Entrambe le soluzioni giungono al termine dei primi 20 anni con buoni livelli di IRI, ma la soluzione migliorativa proposta presenta una regolarità del piano viabile migliore del 16% rispetto alla soluzione a base di gara, sia per l'asse principale che per la viabilità secondaria (riduzione dell'IRI da 1.77 m/km a 1.48 m/km per l'asse principale e da 1.75 m/km a 1.46 m/km per la viabilità secondaria).

3.2 Analisi dei costi complessivi di manutenzione sul lungo periodo

Coerentemente con quanto sopra esposto, dovrà essere ipotizzato un piano di interventi di manutenzione ordinaria e straordinaria al fine di mantenere un livello di funzionalità della strada sempre superiore ad una soglia di accettabilità del PSI pari a 3.0; ad ogni intervento manutentivo straordinario corrisponderà un ripristino del valore di PSI pari a 4.2. In seguito a ciascun intervento manutentivo, il PSI decresce con la stessa legge di decadimento definita dall'espressione [13] e dai valori di traffico previsti nei periodi corrispondenti.

I risultati ottenuti per la soluzione migliorativa proposta, raffrontati con quelli ottenuti per la pavimentazione prevista a base di gara, sono riportati in Figura 9. L'arco temporale considerato sia per il piano delle manutenzioni che per la verifica del miglioramento economico è pari a 50 anni dalla costruzione.

Dai calcoli sopra detti si conclude che, sia per la viabilità principale che per quella secondaria, la soluzione a base di gara compie esattamente due cicli di vita utile nell'arco dei 50 anni, con n.1 intervento di manutenzione straordinaria necessario al 30° anno, mentre la soluzione migliorativa proposta giunge al termine dello stesso arco temporale con un solo ciclo di vita utile completo e senza necessità di alcun intervento di rifacimento.

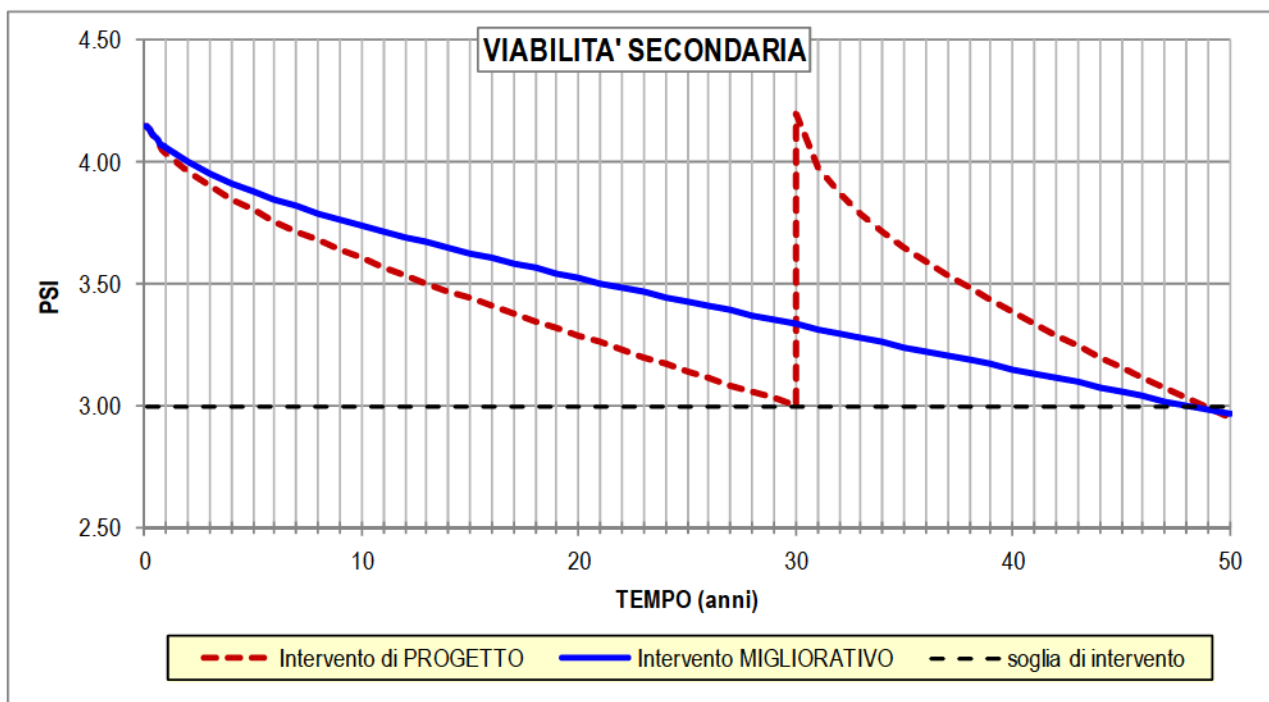
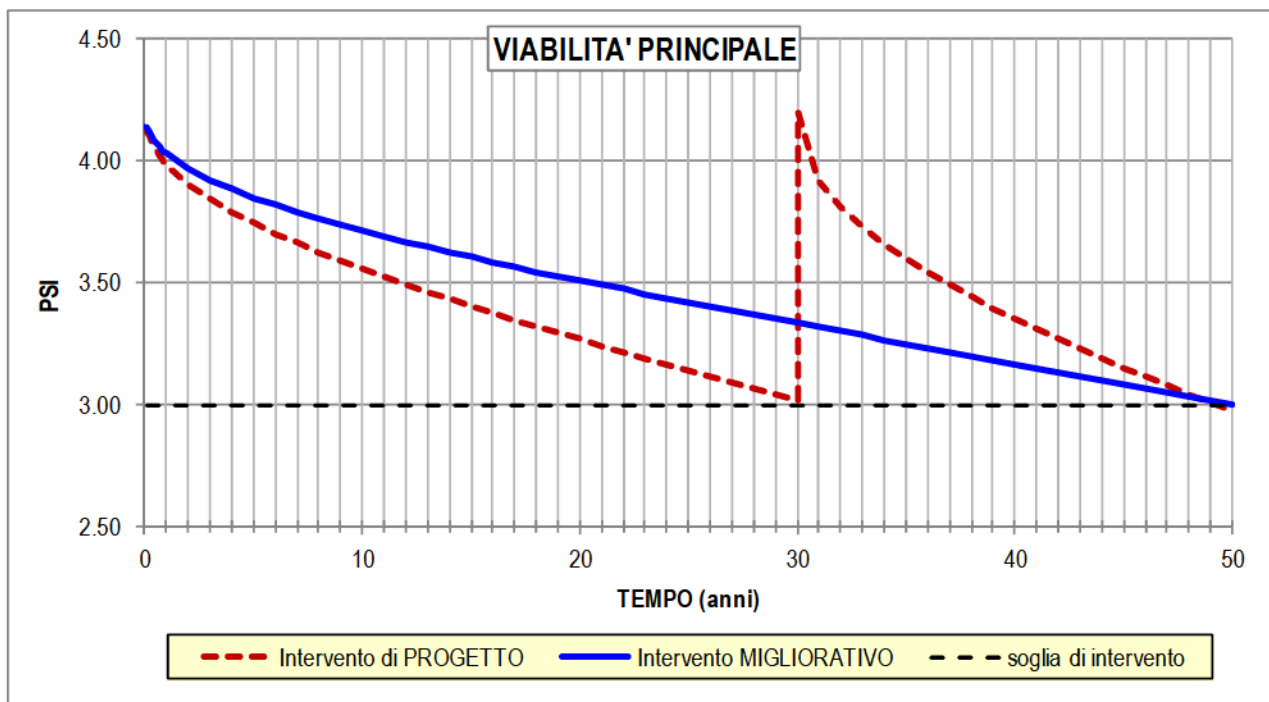


Figura 9 – Evoluzione del PSI ed interventi di manutenzione straordinaria su un lungo arco temporale di esercizio per le due soluzioni a confronto

In parallelo a tale piano di interventi di manutenzione straordinaria, dovrà essere previsto un piano di interventi di manutenzione ordinaria per il ripristino delle caratteristiche superficiali, consistenti nel rifacimento dello strato di usura drenante: può essere ritenuta a tal fine una cadenza tale da prevedere almeno un intervento intermedio tra due interventi straordinari consecutivi o almeno ogni 8 anni per entrambe le soluzioni, ignorando – a favore di sicurezza – che l'impiego delle scorie d'altoforno nello strato di usura previsto nella soluzione migliorativa proposta potrebbe dilatare tale cadenza. Risulta chiaro che qualora un intervento di manutenzione ordinaria coincidesse con uno di manutenzione straordinaria, il primo dei due non si renderebbe necessario perché automaticamente compreso nel secondo.

Tali conclusioni permettono di effettuare una analisi dei costi di manutenzione, oltre che di costruzione, su un periodo esteso a 50 anni dalla costruzione. Ipotizzando un tasso di sconto r , posto in questo caso pari all'1%, tutti i costi previsti lungo il corso degli anni nel periodo di riferimento possono essere attualizzati al momento iniziale tramite la relazione [15], in maniera tale da ottenere per ciascuna delle soluzioni un costo globale direttamente confrontabile con gli altri.

$$C_0 = \frac{C_n}{(1+r)^n} \quad [15]$$

dove C_0 è il costo attualizzato al momento iniziale, C_n è il costo affrontato nell'anno n , r è il tasso di sconto.

I costi sono stati calcolati per incidenza a metro quadro, ed il confronto è stato effettuato considerando le lavorazioni necessarie direttamente coinvolte, secondo le rispettive ipotesi progettuali, nel rifacimento dell'intera sovrastruttura stradale per gli interventi di costruzione e manutenzione straordinaria, e nel rifacimento del solo strato di usura per gli interventi di manutenzione ordinaria.

I prezzi considerati sono desunti da prezzi medi riportati dai bollettini ufficiali, sulla base dei diversi spessori previsti nelle soluzioni migliorative, senza riportare quindi alcuna valorizzazione economica anticipatoria dei contenuti dell'offerta economica. Inoltre, i costi sono espressi interamente su base relativa e non in valore assoluto, avendo posto come riferimento il costo di costruzione della sovrastruttura a base di gara pari a 100. In altre parole, l'analisi del costo di ciclo di vita sul lungo periodo è stata effettuata normalizzando tutti i costi delle lavorazioni rispetto ad un costo standard imposto pari a 100 per la costruzione della sovrastruttura a base di gara.

Le lavorazioni ed i rispettivi costi normalizzati considerati per la quantificazione della convenienza economica della gestione manutentiva della strada, relativamente agli interventi sulla viabilità principale, sono riportati nella seguente Tabella 14.

VIABILITA' PRINCIPALE – COSTRUZIONE – costi normalizzati (posto pari a 100 il costo di costruzione della sovrastruttura a base gara)		
LAVORAZIONE	BASE GARA	MIGLIORATIVO
Fresatura di strati di pavimentazione e fondazione esistente	32.87	38.54
Fornitura e posa in opera strato in misto granulare	13.82	20.73
Fornitura e posa in opera sottobase in misto cementato	13.68	
Fornitura e posa in opera sottobase in misto cementato riciclato		3.77
Fornitura e posa in opera strato di Base tradizionale	15.34	
Fornitura e posa in opera strato di Base riciclata a freddo con emulsione bit. modificata		16.59
Fornitura e posa in opera strato di Binder tradizionale	11.03	
Fornitura e posa in opera strato di Binder Hard ad elevata resistenza all'ormaiamento		12.94
Mano d'attacco impermeabilizzante in emulsione bituminosa modificata	1.13	1.13
Fornitura e posa in opera strato di Usura drenante	12.12	12.12
TOTALE	100.00	105.82

VIABILITA' PRINCIPALE – MANUTENZIONE STRAORDINARIA – costi normalizzati (posto pari a 100 il costo di costruzione della sovrastruttura a base gara)	
LAVORAZIONE	BASE GARA
Fresatura di strati di pavimentazione in conglomerato bituminoso e misto cementato	21.53
Fornitura e posa in opera sottobase in misto cementato	13.68
Fornitura e posa in opera strato di Base tradizionale	15.34
Fornitura e posa in opera strato di Binder tradizionale	11.03
Mano d'attacco impermeabilizzante in emulsione bituminosa modificata	1.13
Fornitura e posa in opera strato di Usura drenante	12.12
TOTALE	74.84

VIABILITA' PRINCIPALE – MANUTENZIONE ORDINARIA – costi normalizzati (posto pari a 100 il costo di costruzione della sovrastruttura a base gara)		
LAVORAZIONE	BASE GARA	MIGLIORATIVO
Fresatura di strati di pavimentazione in conglomerato bituminoso drenante	2.27	2.27
Mano d'attacco impermeabilizzante in emulsione bituminosa modificata	1.13	1.13
Fornitura e posa in opera strato di Usura drenante	12.12	12.12
TOTALE	15.52	15.52

Tabella 14 – VIABILITA' PRINCIPALE – Lavorazioni previste e costi normalizzati per gli interventi di manutenzione ordinaria e straordinaria per le due soluzioni a confronto

Sulla base delle suddette ipotesi e della relazione [15], sono stati ricavati i costi durante il periodo di riferimento e quelli globali attualizzati al momento iniziale, riportati nella seguente Tabella 15 relativamente agli interventi sulla viabilità principale:

VIABILITA' PRINCIPALE - PIANO DI MANUTENZIONE - costi normalizzati (posto pari a 100 il costo di costruzione della sovrastruttura a base gara)								
ANNO	SOLUZIONE MIGLIORATIVA				SOLUZIONE A BASE DI GARA			
	Costo iniziale	Costo manut. ordinarie	Costo manut. straordinarie	Costi totali attualizzati	Costo iniziale	Costo manut. ordinarie	Costo manut. straordinarie	Costi totali attualizzati
0	105.82			105.82	100.00			100.00
1				0.00				0.00
2				0.00				0.00
3				0.00				0.00
4				0.00				0.00
5				0.00				0.00
6				0.00				0.00
7				0.00				0.00
8		15.52		14.33		15.52		14.33
9				0.00				0.00
10				0.00				0.00
11				0.00				0.00
12				0.00				0.00
13				0.00				0.00
14				0.00				0.00
15				0.00				0.00
16		15.52		13.24		15.52		13.24
17				0.00				0.00
18				0.00				0.00
19				0.00				0.00
20				0.00				0.00
21				0.00				0.00
22				0.00				0.00
23				0.00				0.00
24		15.52		12.22		15.52		12.22
25				0.00				0.00
26				0.00				0.00
27				0.00				0.00
28				0.00				0.00
29				0.00				0.00
30				0.00			74.84	55.53
31				0.00				0.00
32		15.52		11.29				0.00
33				0.00				0.00
34				0.00				0.00
35				0.00				0.00
36				0.00				0.00
37				0.00				0.00
38				0.00		15.52		10.63
39				0.00				0.00
40		15.52		10.42				0.00
41				0.00				0.00
42				0.00				0.00
43				0.00				0.00
44				0.00				0.00
45				0.00				0.00
46				0.00		15.52		9.82

47				0.00				0.00
48				0.00				0.00
49				0.00				0.00
50				0.00				0.00
valore residuo			0.00	0.00			0.00	0.00
TOT. ATTUAL.			167.32				215.77	
							+29%	

Tabella 15 – VIABILITA' PRINCIPALE – Costi normalizzati ed attualizzati del piano delle manutenzioni per le due soluzioni a confronto in un arco temporale di 50 anni

Dai dati ricavati si conclude che, per quanto concerne gli interventi sull'asse principale, l'intervento di progetto a base di gara, su un arco temporale di 50 anni dalla costruzione, comporta un onere economico di manutenzione superiore del **29%** rispetto alla soluzione migliorativa proposta.

Con analogo procedimento, si procede all'analisi economica della gestione manutentiva relativamente agli interventi sulla viabilità secondaria: le lavorazioni ed i rispettivi costi normalizzati considerati per la quantificazione della convenienza economica della gestione manutentiva delle complanari sono riportati nella seguente Tabella 16. In questo caso l'intervento di manutenzione ordinaria per il ripristino delle caratteristiche superficiali consiste nel rifacimento dello strato di usura: può essere ritenuta a tal fine una cadenza tale da prevedere almeno un intervento intermedio tra due interventi straordinari consecutivi o almeno ogni 8 anni per l'usura tradizionale prevista a base di gara e almeno ogni 15 anni per l'usura Hard SMA 0-14 (la frequenza degli interventi per questo tipo di materiale può essere notevolmente ridotta grazie alla maggiore resistenza alla levigabilità ed alle migliori performance strutturali, soprattutto nei confronti dei danni per ormaimento).

VIABILITA' SECONDARIA – COSTRUZIONE – costi normalizzati (posto pari a 100 il costo di costruzione della sovrastruttura a base gara)		
LAVORAZIONE	BASE GARA	MIGLIORATIVO
Fresatura di strati di pavimentazione e fondazione esistente	31.37	39.21
Fornitura e posa in opera strato in misto granulare	19.13	28.69
Fornitura e posa in opera strato di Base tradizionale	21.23	21.23
Fornitura e posa in opera strato di Binder tradizionale	15.26	
Fornitura e posa in opera strato di Binder Hard ad elevata resistenza all'ormaiamento		17.90
Fornitura e posa in opera strato di Usura tradizionale	13.01	
Fornitura e posa in opera strato di Usura Hard SMA 0-14		17.29
TOTALE	100.00	124.33

VIABILITA' SECONDARIA – MANUTENZIONE STRAORDINARIA – costi normalizzati (posto pari a 100 il costo di costruzione della sovrastruttura a base gara)	
LAVORAZIONE	BASE GARA
Fresatura di strati di pavimentazione in conglomerato bituminoso	15.68
Fornitura e posa in opera strato di Base tradizionale	21.23
Fornitura e posa in opera strato di Binder tradizionale	15.26
Fornitura e posa in opera strato di Usura tradizionale	13.01
TOTALE	65.19

VIABILITA' SECONDARIA – MANUTENZIONE ORDINARIA – costi normalizzati (posto pari a 100 il costo di costruzione della sovrastruttura a base gara)		
LAVORAZIONE	BASE GARA	MIGLIORATIVO
Fresatura di strati di pavimentazione in conglomerato bituminoso di usura	3.14	3.14
Fornitura e posa in opera strato di Usura tradizionale	13.01	
Fornitura e posa in opera strato di Usura Hard SMA 0-14		17.29
TOTALE	16.14	20.43

Tabella 16 – VIABILITA' SECONDARIA – Lavorazioni previste e costi normalizzati per gli interventi di manutenzione ordinaria e straordinaria per le due soluzioni a confronto

Sulla base delle suddette ipotesi e della relazione [15], sono stati ricavati i costi durante il periodo di riferimento e quelli globali attualizzati al momento iniziale, riportati nella seguente Tabella 17 relativamente agli interventi sulla viabilità secondaria:

VIABILITA' SECONDARIA - PIANO DI MANUTENZIONE - costi normalizzati (posto pari a 100 il costo di costruzione della sovrastruttura a base gara)								
ANNO	SOLUZIONE MIGLIORATIVA				SOLUZIONE A BASE DI GARA			
	Costo iniziale	Costo manut. ordinarie	Costo manut. straordinarie	Costi totali attualizzati	Costo iniziale	Costo manut. ordinarie	Costo manut. straordinarie	Costi totali attualizzati
0	124.33			124.33	100.00			100.00
1				0.00				0.00
2				0.00				0.00
3				0.00				0.00
4				0.00				0.00
5				0.00				0.00
6				0.00				0.00
7				0.00				0.00
8				0.00		16.14		14.91
9				0.00				0.00
10				0.00				0.00
11				0.00				0.00
12				0.00				0.00
13				0.00				0.00
14				0.00				0.00
15		20.43		17.60				0.00
16				0.00		16.14		13.77
17				0.00				0.00
18				0.00				0.00
19				0.00				0.00
20				0.00				0.00
21				0.00				0.00
22				0.00				0.00
23				0.00				0.00
24				0.00		16.14		12.71
25				0.00				0.00
26				0.00				0.00
27				0.00				0.00
28				0.00				0.00
29				0.00				0.00
30		20.43		15.16			65.19	48.36
31				0.00				0.00
32				0.00				0.00
33				0.00				0.00
34				0.00				0.00
35				0.00				0.00
36				0.00				0.00
37				0.00				0.00
38				0.00		16.14		11.06
39				0.00				0.00
40				0.00				0.00
41				0.00				0.00
42				0.00				0.00
43				0.00				0.00
44				0.00				0.00
45		20.43		13.05				0.00
46				0.00		16.14		10.21

47				0.00				0.00
48				0.00				0.00
49				0.00				0.00
50				0.00				0.00
valore residuo			0.00	0.00			0.00	0.00
TOT. ATTUAL.	170.14				211.03			
					+24%			

Tabella 17 – VIABILITA' SECONDARIA – Costi normalizzati ed attualizzati del piano delle manutenzioni per le due soluzioni a confronto in un arco temporale di 50 anni

Dai dati ricavati si conclude che, per quanto concerne gli interventi sulla viabilità secondaria, l'intervento di progetto a base di gara, su un arco temporale di 50 anni dalla costruzione, comporta un onere economico di manutenzione superiore del **24%** rispetto alla soluzione migliorativa proposta.