

Verifiche su un drenante doppio strato

Double draining layer check



CORRADO ACCARDO - SpA Autovie Venete

PAOLO GRANDESSO - SpA Autovie Venete

CLAUDIO MOLIN - LGT Srl

Riassunto

Doppio strato drenante, una tipologia di pavimentazione drenante e fonoassorbente che è riuscita a conservare nel corso dei quattordici anni d'impiego le prerogative di progetto. SpA Autovie Venete ha voluto indagare sulle caratteristiche e le peculiarità che hanno permesso questo risultato.

Summary

Double draining layer is a type of porous asphalt pavement which, during 14 years of use, has been able to reach the project aims and to keep them. SpA Autovie Venete has analyzed the features and properties that have enabled this successful result.

1. Premessa

Più di centodiciassette milioni di veicoli, di cui quasi 38 milioni di mezzi pesanti, sono transitati dal 1998 ad oggi su una pavimentazione tipo D.D.L. (Double Draining Layer) dell'Autostrada A4, nella tratta Venezia-Trieste, senza lasciare traccia, nessuno sfondamento, nessuna ormaia, nessuno sgranamento.

Il doppio strato drenante è una tipologia di pavimentazione aperta costituita da due strati: quello inferiore avente spessore di 30 - 40 mm, confezionato con materiale calcareo 0/15 mm; il superiore di spessore 15 - 20 mm e pezzatura 0/8 mm, realizzato con inerti di natura effusiva, quali basalti, graniti, porfidi o loppe d'altoforno, tutti ad alto Coefficiente di Levigabilità Accelerata (C.L.A. >0,45) e bassa perdita in peso Los Angeles (L.A. <18%).

Gli aggregati "grossi" devono presentare inoltre particolari caratteristiche di poliedricità (Coeff. di forma > 0,25 e Coeff. di appiattimento < 10%, definiti secondo la UNI 8520 - 18).

Operativamente viene steso in due strati: il primo viene posato su una mano d'attacco tipo SAMI, avente il duplice scopo di garantire l'aderenza allo strato sottostante e di realizzare una barriera impermeabile; il secondo strato viene steso sul primo senza nessuna mano d'attacco.

L'aderenza fra gli strati può essere garantita solamente se il bitume di confezionamento è un modificato di elevate caratteristiche e se le temperature e i tempi di stesa vengono rispettati.

S.p.A. Autovie Venete negli anni '90, quando studiò questa tipologia di conglomerato, voleva ottenere una pavimentazione che:

- ® favorisse l'aderenza in caso di pioggia, eliminando il velo d'acqua in superficie;
- ® avesse una capacità drenante non inferiore a 30 l/min;
- ® potesse elevare la fonoassorbenza, abbattendo il rumore di rotolamento e limitando la produzione di basse frequenze;
- ® mantenesse elevati valori di drenabilità nel tempo. »

2. Rilievi e controlli sperimentali

Da rilievi effettuati a maggio 2012 è emerso che la tratta ha un Coefficiente di Aderenza Trasversale (C.A.T.) medio di circa 47 e una drenabilità con valori compresi fra 6,50 e 13,5 l/min, con una media attestata attorno a circa 10 l/min.

fine, ma fossero espulse sotto la spinta del traffico. Viceversa, l'azione ripulente del traffico in condizioni di pioggia è riuscita a rimuovere le impurità di dimensioni minori. Queste hanno attraversato il primo strato ma sono state drenate sotto la spinta dell'acqua attraverso lo strato inferiore con interstizi comunicanti di maggiori dimensioni; la minor tessitura dello strato drenante su-

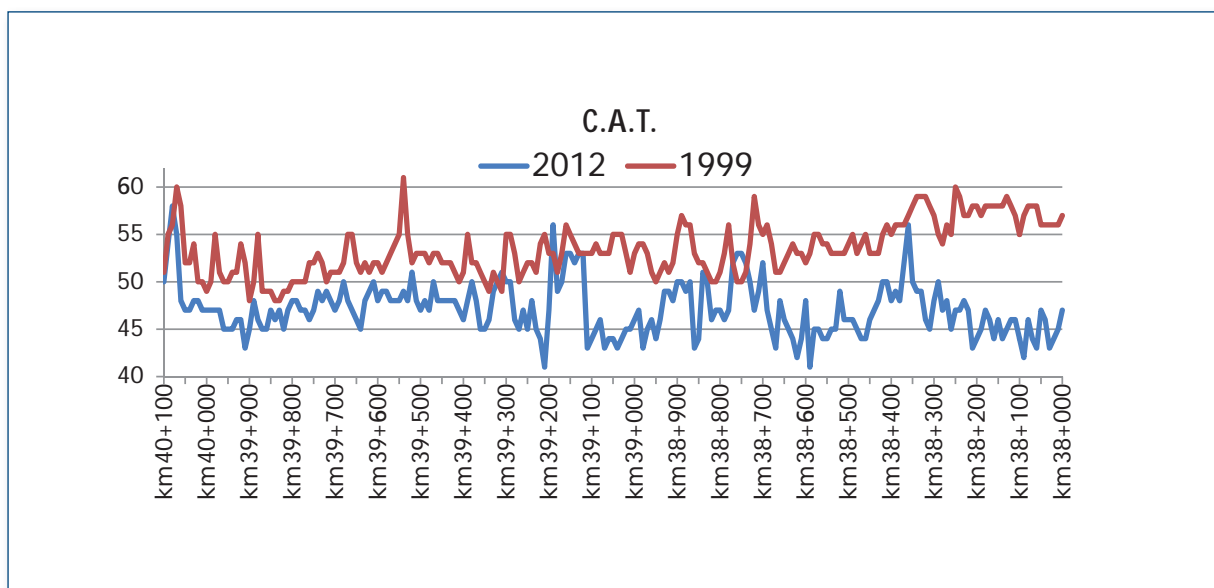


Fig. 1 - Valori di CAT negli anni 1999 e 2012

Questi risultati consentono di paragonare la pavimentazione ad un moderno "antiskid semidrenante" e di ritenere quindi le prerogative iniziali soddisfatte.

Il basalto ha permesso di contenere la perdita di aderenza causata dal levigamento del traffico; si veda al proposito il grafico di Fig. 1 in cui sono riportati i valori del C.A.T. del 1999 e del 2012.

La soluzione in doppio strato si è comportata come previsto riguardo a drenabilità e fonoassorbente: lo strato superiore ha svolto l'azione filtrante contro le impurità trasportate dal traffico consentendo allo strato inferiore di rimanere pulito e di allungare la capacità drenante nel tempo. Il DDL era stato pensato affinché le impurità di dimensioni maggiori, di difficile rimozione, non penetrassero nello strato superficiale a tessitura più

perficiale ha permesso di ridurre le basse frequenze del rumore generato dal rotolamento degli pneumatici senza alterare la capacità drenante. Le soluzioni monostrato, invece, devono obbligatoriamente orientarsi o verso alte drenabilità, date da tessiture a pezzatura 15-20, ma a basso contenimento del rumore di rotolamento, o verso tappeti fonoassorbenti che richiedono però pezzature minori, senza raggiungere elevati valori di drenabilità.

Il DDL, a distanza di 14 anni, sta continuando a garantire una superficie di rotolamento ad alta aderenza, con discreta capacità drenante e senza irregolarità superficiali. Risultato quest'ultimo reso possibile dagli strati sottostanti che hanno garantito la portanza necessaria, attraverso una corretta distribuzione dei carichi agenti.

3. Verifiche delle caratteristiche di portanza

Mediante i dati di traffico consolidati dal 1998 ad oggi è possibile verificare la capacità portante della pavimentazione. Normalmente nel dimensionamento di una pavimentazione viene verificato se lo spessore bitumato sopporti il volume di carico dato da una proiezione del traffico sulla vita utile di progetto; nel nostro caso possiamo analizzare, dati traffico consolidati alla mano, come questo sia avvenuto.

Utilizzando i metodi semiempirici per il dimensionamento delle pavimentazioni, possiamo determinare quali sono le caratteristiche tecniche effettive del conglomerato bituminoso che hanno permesso, a distanza di 14 anni e di 117 milioni di veicoli, di avere ancora una superficie pavimentata regolare.

Nella **Tab. 1** sono riportati gli assi equivalenti transitati (ESA, 82 kN), ricavati dai dati traffico secondo il procedimento AASHO.

I carichi sugli assi sono stati calcolati mediante la distribuzione fornita dal CNR – B.U. 178/95 “Catalogo delle pavimentazioni stradali” di ogni tipologia di veicolo. Il metodo AASHO si basa sul confronto fra gli assi equivalenti determinati dalle proiezioni dei dati traffico e gli assi equivalenti di una predeterminata tipologia di sovrastruttura stradale mediante la formula di seguito riportata, dove:

Is= spessore equivalente;
PSI= indice di servizio;
S_i= portanza del sottofondo;
R= fattore ambientale.

Qualora gli ESA determinati dalla formula risultino maggiori di quelli derivanti dalla previsione dei transiti nel corso della vita utile, la pavimentazione è verificata.

Nel caso in esame, invece, verrà svolta una verifica fra gli assi equivalenti ricavati da dati di traffico consolidati e una tipologia di sovrastruttura stradale nota, quella in esame, descritta attraverso carote in sito e prove di laboratorio specifiche.

Come riportato in Tab. 1, gli assi equivalenti transitati sulla pavimentazione drenante sono stati 150.405.069.

Invertendo la formula del metodo semiempirico AASHO possiamo ricavare lo spessore equivalente Is minimo (minimo perché non sappiamo la vita utile residua della pavimentazione in esame) che deve aver avuto la struttura stradale per poter sopportare i carichi del traffico pesante.

Ipotizzando:

- Ⓔ una portanza del sottofondo in termini di S_i pari a 7, equivalente ad un CBR di 35;
- Ⓔ un fattore ambientale dato dal coefficiente R pari a 2,5 (zone umide con fenomeni di disgelo primaverile);

$$\log N_{8,2} = 9.36 \log \left(\frac{I_s}{2.50} + 1 \right) - 0.20 + \frac{\log \left(\frac{4.20 - PSI}{2.70} \right)}{0.40 + \frac{1094}{\left(\frac{I_s}{2.50} + 1 \right)^{5.19}}} + 0.372 \cdot (s_i - s_0) - \log R$$

Tab. 1 Numero di assi equivalenti transitati sulla pavimentazione

Classe tariffaria	n° assi veicolo pesante	n° veicoli pesanti dal 1998 ad oggi	n° medio assi equivalenti	n° assi equiv. 81,6 kN
5	5 assi	19.281.396	5,4921552	105.896.420
4	4 assi	1.980.513	7,490683014	14.835.392
3	3 assi	2.595.688	3,374300822	8.758.633
B	2 assi	13.858.691	1,509134101	20.914.623
TOTALE		37.716.288		150.405.069

» VERIFICHE SU UN DRENANTE DOPPIO STRATO

® un indice di servizio PSI di 2,50¹;
ne deriva un indice di spessore equivalente I_s pari a 14,23.

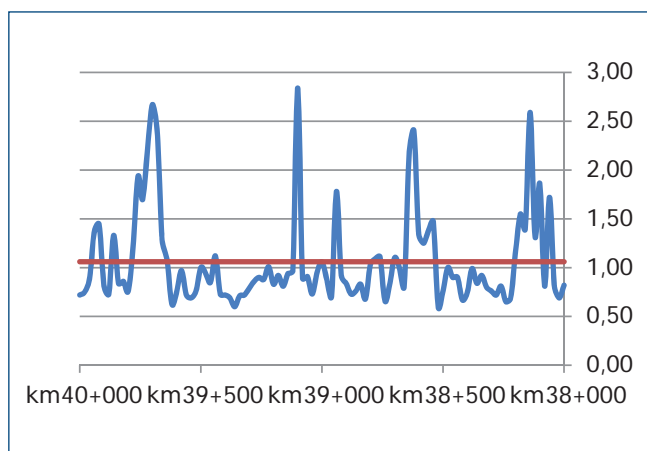


Fig. 2 Valori di IRI misurati nel 2012 tra i km 38 e 40

Analisi della carota prelevata in sito (Fig. 3):

Spessore complessivo: 24 cm circa;

1. Composizione degli spessori:

- 5 cm - DDL 3+2;
- mano d'attacco tipo SAMI;
- 5 cm - usura con bitume modificato di basalto e calcare;
- 3 cm - binder modificato;
- 3 cm - usura di basalto e calcare;
- 4 cm - usura calcarea
- 4 cm - binder;

2. Fondazione costituita da 40 cm di misto granulare stabilizzato;

Sulla base dello spessore equivalente globale calcolato dai dati traffico, sono stati ricavati i coefficienti di spessore equivalente di ogni singolo strato come di seguito indicato (v. Tab. 4 a pagina successiva).

¹ In realtà la letteratura propone un'equazione sperimentale ($IRI=5,50 \ln(5,00/PSI)$) che se applicata ai valori IRI rilevati con mezzo ARAN nel 2012 (Fig. 2) danno un PSI molto più elevato $PSI=5/e^{(IRI/5,5)} = 4,12$. Prudenzialmente si è preferito attestarsi su un valore di PSI di 2,50.



Fig. 3 Esame stratigrafico della carota

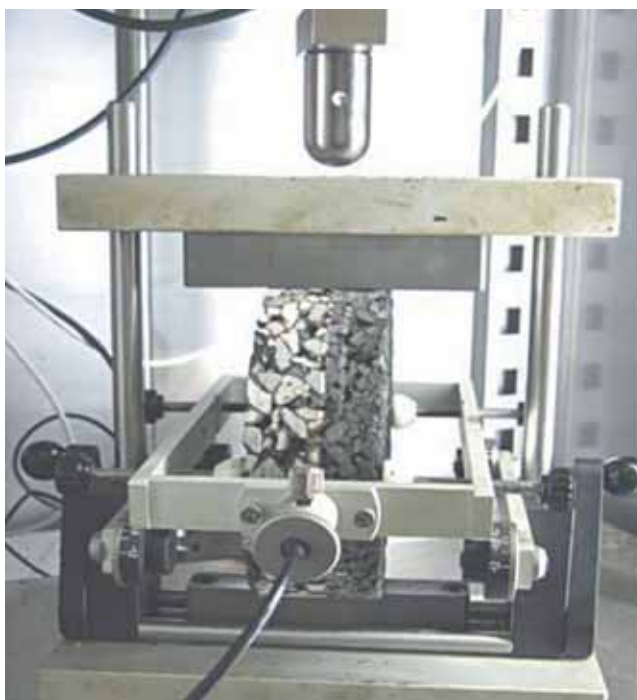


Fig. 4 Prova ITSM

Si osservi intanto che la pavimentazione analizzata, composta da diversi strati d'usura, non sia stata il risultato di una progettazione ex novo ma di interventi di manutenzione successivi.

Tramite l'ausilio delle prove di laboratorio sulla carota prelevata sono stati ricavati i coefficienti di spessore equivalente degli strati.

I moduli elastici a 30 °C, ricavati in laboratorio tramite ITSM (*Indirect Tensile Stiffness Modulus* - **Fig. 4**) sono:

® per il DDL: $E = 4.000 \text{ MPa}$;

® per lo strato d'usura sottostante: $E = 2.500 \text{ MPa}$.

Gli strati successivi non sono stati analizzati separatamente ma trattati come un unico strato.

Contrariamente a quanto atteso, il DDL ha un modulo paragonabile ad un binder modificato e molto più alto dell'usura, dalla quale ci si aspettava almeno un valore attorno a 3.000 MPa.

Tali risultati possono essere giustificati dall'analisi del materiale: il DDL ha un contenuto di bitume riferito agli inerti pari a 4,41%, quantità che non si può definire abbondante dal momento che da Capitolato dovrebbe essere compresa fra 4,40 e 5,20%. Il bitume di confezionamento del DDL è il più prestazionale fra le diverse tipologie, come risulta dal confronto dei valori di Capitolato con quelli ricavati dal campione in sito per estrazione tipo Abson (**Tab. 2**):

Tab. 2 Risultati di prova sul bitume del DDL

Caratteristica	Valori di prova (Abson)	Valori di Capitolato
Penetrazione	34 dmm	55-65 dmm
Palla & Anello	88 °C	80-90 °C
Viscosità dinamica a 100°C	172 Pa*s	> 80 Pa*s
Viscosità dinamica a 160°C	1,14 Pa*s	0,6-1,0 Pa*s

Si osservano l'abbassamento della penetrazione e l'aumento delle viscosità, sintomi dovuti in parte all'invecchiamento e in parte al processo di estrazione Abson; effetti che, in quanto sovrapponibili, permettono comunque di dedurre che il bitume dopo 14 anni di attività si è irrigidito. La perdita di elasticità ed il basso contenuto di bitume riscontrato sono i fattori che hanno probabilmente determinato l'aumento, fino a

4.000 MPa, del modulo elastico rilevato.

Il secondo strato della carota è composto da inerti di natura calcarea e basaltica di diametro compreso fra 0 e 15 mm; ha un contenuto di legante elevato (5,70%), con caratteristiche non certo pari a quelle del DDL, ma comunque paragonabili a quelle di un bitume mediamente modificato (**Tab. 3**):

Tab. 3 Risultati di prova sul bitume del secondo strato

Caratteristica	Valori di prova (Abson)
Penetrazione	46 dmm
Palla & Anello	71 °C
Viscosità dinamica a 100°C	51 Pa*s
Viscosità dinamica a 160°C	0,50 Pa*s

Anche in questo caso valgono le medesime considerazioni dello strato drenante: il bitume ha subito un processo d'invecchiamento determinato dal tempo e dalla prova Abson. Trovandosi però ad un livello sottostante, il materiale ha goduto dell'effetto protettivo della mano di impermeabilizzazione SAMI e del DDL che lo hanno preservato dai fattori ambientali quali raggi UV, acqua e temperatura. Si può quindi ipotizzare che le condizioni iniziali del bitume utilizzato per il confezionamento del manto d'usura non siano state così diverse dalle attuali, come riscontrato nel DDL.

La maggior penetrazione e la minor viscosità sono indici entrambi di un legante meno rigido. Considerazioni queste che, assieme all'alta percentuale di bitume, spiegano il basso modulo elastico riscontrato, pari a 2.500 MPa.

La sovrastruttura esaminata rispetta i principi di base per il dimensionamento di una pavimentazione flessibile, con moduli elastici che decrescono verso la fondazione al diminuire delle tensioni a trazione. Lo strato sottostante (i rimanenti 14 cm di conglomerato) è stato esaminato come se fosse costituito da un unico materiale.

Ciò in ragione dei limitati spessori dei singoli strati, che avrebbero reso inattendibili misure specifiche. Le caratteristiche medie riscontrate sono le seguenti: percentuale di bitume 4,94%; curva granulometrica 0-20; percentuale dei vuoti del 5,0%. »

» VERIFICHE SU UN DRENANTE DOPPIO STRATO

Questi parametri potrebbero far corrispondere il materiale alle specifiche previste per uno strato di usura tradizionale. Anche in questo caso, si evidenzia come il basso contenuto dei vuoti delle miscele abbia sicuramente giocato un ruolo fondamentale nel preservare queste miscele dai fenomeni di invecchiamento, fornendo un notevole contributo al prolungamento della vita utile della pavimentazione.

Anche visivamente, drenante a parte, è possibile apprezzare come il pacchetto si presenti perfettamente chiuso, con percentuale media dei vuoti dell'ordine del 5%.

Lo spessore equivalente I_{s_i} del 3° strato, determinato come complemento allo spessore equivalente I_s , è particolarmente basso e sicuramente inferiore al suo valore reale. Questo indica, conseguentemente, che la sovrastruttura possa in realtà avere un I_s superiore rispetto a quello minimo necessario a sopportare i carichi transitati e che quindi disponga di una vita utile residua ancora da scontare.

Ipotizzando per il 3° strato una stabilità di 900 kg ed un K_i di 0,43, ne deriva uno spessore equivalente complessivo della pavimentazione pari a 15,42. Applicando a questo la formula AASHO sopra riportata è possibile deter-

Tab. 4 Parametro di caratterizzazione K e spessore equivalente I_s

	cm	Me (MPa)	S (kg)	K_i	I_{s_i}
D.D.L.	5	4000	1500	0,47	2,35
2° strato	5	2500	1000	0,45	2,25
3° strato	14		580	0,35	4,83
misto stabilizzato	40		CBR 70	0,12	4,80
Spessore totale	64				Indice di spessore I_s 14,23

4. Determinazione degli spessori I_s dei tre strati

Utilizzando i coefficienti di equivalenza dei materiali delle pavimentazioni stradali flessibili e i coefficienti di conversione, che si trovano in letteratura, fra modulo elastico (Me) e stabilità Marshall (S), è possibile assegnare ad ogni strato un parametro di caratterizzazione del materiale equivalente K_i . L'AASHO fornisce i coefficienti sino ad un valore massimo di stabilità pari a 1000 kg. Mediante, per interpolazione è possibile ricavare i K del DDL e del 2° strato (Tab. 4). Per sottrazione viene invece ricavato il coefficiente K minimo del 3° strato.

5. Considerazioni conclusive

I moduli elastici determinati dal prelievo in sito ci descrivono una sovrastruttura stradale di tipo elastico che, per aver resistito al volume di traffico rilevato, deve avere uno spessore equivalente complessivo di almeno 14,23.

minare il numero complessivo di ESA 82 che può sopportare la pavimentazione in analisi, ossia 275.243.238. La tratta in esame può sostenere quindi ulteriori 125 ML di ESA 82 e avere una vita utile residua di altri 10 anni. Il 2° strato, ad alto tenore di bitume e bassa percentuale di vuoti, ha svolto, assieme al SAMI, la duplice funzione di superficie impermeabile e cuscinetto verso le sollecitazioni dinamiche trasmesse dal traffico attraverso il DDL. Probabilmente, qualora il 2° strato si fosse trovato a diretto contatto con il traffico, visto l'elevato tenore di bitume e il modulo elastico poco elevato, indici entrambi di una pavimentazione elastica, avrebbe potuto soffrire di fenomeni di ormaiamento. Posto al di sotto di uno strato più rigido ha smorzato le sollecitazioni dinamiche ed evitato infiltrazioni d'acqua, proteggendo la fondazione da carichi eccessivi e fenomeni di gelo e disgelo. La scelta di condividere i risultati di questa tratta di pavimentazione autostradale nasce dalla volontà di promuovere un *modus operandi* che da sempre S.p.A. Autovie Venete adotta: realizzare conglomerati che permettano di ottenere il massimo della vita utile della pavimentazione me-

dianete l'utilizzo di materiale ad alte prestazioni. Questo nella consapevolezza che il maggior investimento di oggi possa ritornare nell'economia complessiva della gestione.

Il perseguimento della qualità attraverso:

- ® la ricerca di inerti ad alte prestazioni, quali le loppe derivanti dalle scorie d'altoforno per garantire il mantenimento nel tempo dell'aderenza;
- ® l'utilizzo di bitumi a modifica complessa caratterizzati da viscosità elevate, ritorni elastici superiori al 90% e alta resistenza all'invecchiamento (valori riscontrati dopo RTFOT di penetrazione residua a 25 °C > 30% di quella iniziale, scostamenti della P.A. in-

feriori a 10 °C e viscosità dinamica a 100 °C > 120 Pa*s) per conservare le capacità portanti del conglomerato nel tempo;

- ® la presenza costante della Direzione Lavori in cantiere per verificare il corretto svolgersi delle operazioni di stesa (giusta sovrapposizione delle giunte fra le varie strisciate, temperature di confezionamento e stesa adeguate, rullature corrette, ecc.);
- ® il controllo mediante campionature lungo tutto il ciclo produttivo, dal confezionamento alla stesa; sono tutte attenzioni che, se trascurate, possono notevolmente diminuire la vita utile di progetto. ■





Tutto sotto controllo

La quinta generazione di rulli monotamburo "CA" si arricchisce della nuova gamma di peso medio CA2500-CA4600 con motore montato trasversalmente e parametri di compattazione ottimizzati.

Per la compattazione di terre serve molto più che un rullo: Dynapac supporta da sempre i clienti con il proprio know-how tecnologico, dalla pianificazione del lavoro all'analisi dei risultati.

Tre sono le fasi su cui ci concentriamo: Preparazione del lavoro, Prestazioni della macchina, Registrazione dei risultati.

"Missione Compattazione Dynapac": controllo totale di tutto il processo!



DYNAPAC

Part of the Atlas Copco Group

Per saperne di più: www.dynapac.com