

SITEBSi srl
**Rassegna
del bitume**

RIVISTA DEL SITEB-ASSOCIAZIONE ITALIANA BITUME ASFALTO STRADE

ESTRATTO DAL N° **10/88**

Il conglomerato bituminoso come nuova soluzione per lo strato di sottoballast nelle linee ferroviarie. Dimensionamento con metodo dinamico.

*B. Celard M. Pisani ,
Centro Ricerche Esso Francia - Italiana*

*A. Conti Pourger
Capo divisione Tecnica - Il ufficio Speciale pe la costruz. della Direttissima RM-FI delle FS*

*A. Zocca
Capo Divisione Materiali da costruzione non metallici Istituto Sperimentale FS*

Il conglomerato bituminoso come nuova soluzione per lo strato di sottoballast nelle linee ferroviarie. Dimensionamento con metodo dinamico.

*B. Celard, A. Conti Puorger,
M. Pisani, A. Zocca*

Sommario

La resistenza alla fatica, la proprietà di autoriparazione, la impermeabilità e la resistenza al gelo sono le principali caratteristiche che hanno indotto ad introdurre il conglomerato bituminoso nel 1° e nel 4° lotto della nuova linea Direttissima Roma-Firenze, quale alternativa al "sub-ballast" in misto cementato.

Lo spessore dello strato di conglomerato bituminoso è stato denominato con un nuovo procedimento di calcolo che tiene conto dei moduli dinamici dei materiali e delle condizioni d'esercizio previste per la nuova linea. Tale procedimento potrà essere verificato con prove in situ delle quali vengono fornite le principali caratteristiche.

1.0. GENERALITÀ

I recenti lavori di costruzione della Direttissima Roma-Firenze hanno visto introdurre come nuovo elemento strutturale della linea ferroviaria lo strato di sottoballast.

Tale strato, posto tra la superficie del rilevato (Supercompattato) e la base della massiciata in pietrisco (Ballast), può essere assimilato ad un vero e proprio strato di fondazione.

Le funzioni che lo strato di sottoballast deve assolvere possono essere così riassunte:

- distribuire meglio le sollecitazioni statiche e dinamiche trasmesse sulla piattaforma dal traffico di superficie;
- concorrere alla impermeabilizzazione delle strutture sottostanti con contemporanea funzione di strato anticon-taminante tra il ballast ed il terreno di sottofondo
- mantenere una buona resistenza ai ripetuti cicli gelo/di-sgelo.

In definitiva con tale strato si intende ottenere una piattaforma stabile che garantisca una perfetta geometria del binario in relazione alle alte velocità di progetto. Ciò per-

Estratto da: "Ingegneria Ferroviaria", n. 4, Aprile 1976.

- * Centro Ricerche Esso Francia.
- ** Capo Divisione Tecnica - Il Ufficio Speciale per la Costruzione della Direttissima Roma-Firenze delle FS.
- *** Centro Ricerche Esso Italiana.
- **** Capo Divisione Materiali da costruzione non metallici Istituto Sperimentale FS.

metterà di meglio conservare le caratteristiche della sovrastruttura contribuendo così, tra l'altro, a diminuire gli onerosi costi di manutenzione.

La ricerca del materiale più adatto per il sottoballast, da parte delle F.S., si era indirizzata, in un primo tempo, ai terreni naturali stabilizzati con leganti idraulici o ai misti cementati veri e propri.

Più recentemente però è stata considerata anche una soluzione che prevede l'impiego di legante bituminoso in uno strato di particolari caratteristiche.

In questo articolo vengono descritte le proprietà di tale conglomerato, ed uno studio del progetto eseguito secondo un originale sistema di calcolo basato su prove dinamiche di laboratorio sviluppato dal "Centre de Recherches" della Esso *Société Anonyme Francaise*; sono inoltre descritte le prime applicazioni realizzate sulla Direttissima Roma-Firenze nei lotti in via di completamento.

2.0. CARATTERISTICHE DEL CONGLOMERATO BITUMINOSO

2.1. Proprietà meccaniche - Resistenza alla fatica

Il conglomerato bituminoso, come è noto, è un materiale visco-elastico capace di adattarsi ad eventuali assestamenti del sottosuolo senza subire fessurazioni conservando la capacità di distribuire dei carichi sul sottofondo stesso.

Tra i parametri che possono caratterizzare il comportamento di un materiale del genere, soggetto a carichi ciclici, quello che fornisce informazioni più interessanti è il modulo dinamico che costituisce anche un necessario complemento alle misure convenzionali eseguite in condizioni statiche.

Infatti quando si considera un carico statico posto sulla rotaia (treno fermo) il sottoballast è sottoposto alla sua base a forti sforzi di trazione, ma se il carico è dinamico (treno in movimento) la parte inferiore del sottoballast è sottoposta ad una successione di cicli trazione/compressione.

Poiché una successione frequente e prolungata di questi cicli rischia di indebolire tale strato e quindi creare delle fessurazioni, il materiale che costituisce il sottoballast deve avere una buona resistenza alla fatica.

Mentre tale resistenza è limitata nei materiali con leganti idraulici, sotto questo aspetto ben studiate miscele di conglomerato bituminoso presentano un'alta resistenza alla fatica e sono quindi materiali per i quali i rischi della fessurazione sono praticamente da escludere.

2.2. Autoriparazione

È questa un'altra qualità peculiare dei c.b. nei quali la pellicola di bitume che ricopre gli inerti tende a risaldarsi ai vicini elementi litici.

Ciò è connesso ancora alle qualità visco-elastiche del bitume che fanno sì che anche durante il periodo di riposo tra il passaggio dei treni la coesione del conglomerato si ripristini proprio nelle eventuali zone dove essa fosse venuta meno.

2.3. Effetti termoplastici

Poiché il bitume, come è noto, è un materiale suscettibile di deformazioni plastiche a temperature elevate possono insorgere comprensibili timori circa l'eventualità che tali fenomeni si verificino nello strato di c.b. finito.

È stato però messo in evidenza con idonee prove che grazie all'impiego di filler in proporzione superiore a quella comunemente impiegata, ed alla scelta di una curva granulometrica appropriata miscelata ad un bitume a bassa penetrazione, le deformazioni plastiche legate alla temperatura si riducono a valori del tutto trascurabili anche per temperature superiori a quelle di esercizio².

2.4. Impermeabilità e resistenza al gelo

Il bitume è un legante a comportamento non idrofilo ed il c.b. studiato ha un basso indice di vuoti: queste due qualità fanno sì che la sua permeabilità sia estremamente bassa e la capacità di adsorbimento praticamente nulla.

La permeabilità di c.b. è dell'ordine di $K = 10^{-5}$ cm/sec. con un carico di un'atmosfera; ne deriva che nelle condizioni di esercizio lo strato di conglomerato può essere considerato praticamente impermeabile. Per quanto riguarda l'influenza del gelo è stato già detto che il conglomerato è insensibile all'acqua, dunque la sua impermeabilità elimina i rischi di gelo interstiziale³.

2.5. Tessitura e attrito di superficie

La scelta di materiali interamente frantumati e la dimensione massima del pietrischetto fanno sì che la tessitura superficiale del conglomerato presenti una buona rugosità.

Per di più anche se non si può pensare ad un fenomeno di punzonamento vero e proprio, tenuto presente lo scheletro litico e l'alta coesione della miscela, è pur vero che il pietrisco della massicciata sarà ancorato non solamente dalla rugosità dello strato finito ma anche da una migliore adesione nei punti di contatto tra la pellicola superficiale di bitume e gli spigoli del pietrisco stesso con conseguenti vantaggi nei riguardi dell'attrito pietrisco-massicciata.

3.0. CARATTERISTICHE TECNICHE DEI MATERIALI UTILIZZATI PER LA SOVRASTRUTTURA ED ELEMENTI DI CALCOLO

I dati presi in considerazione per calcolare lo spessore dello strato di sottoballast riguardano le condizioni di esercizio previste per il tronco in progetto sulla Direttissima Roma-Firenze, ed i valori richiesti dal Capitolato di Appalto per i materiali in opera.

Per quanto riguarda il c.b. sono stati utilizzati i dati elaborati nei Laboratori della Esso mediante una serie di prove statiche e dinamiche⁴.

3.1. Ballast

- Granulometria 30/60 mm
- roccia frantumata di natura leucitico-basaltica
- valore di progetto del Modulo Elastico $E1 = 4000$ bar.

3.2. Misto cementato

- Granulometria 0/40 mm
- contenuto in cemento 3%
- resistenza alla compressione, a 7 gg: 15-45 kg/cm²
- Modulo Elastico: 6.000 - 9.000 bar
- valore di progetto del Modulo Elastico: $E2 = 7.500$ bar.

3.3. Terreno di sottofondo (Supercompattato)

- Modulo di Deflessione: 600 kg/cm²
- classificazione AASHO: A1-b
- valore di progetto del Modulo Elastico. $E3 = 2.000$ bar.

3.4. Conglomerato bituminoso

Qui di seguito riportiamo con maggiori dettagli le caratteristiche della miscela di c. b. formulata per lo strato di sottoballast.

a) composizione

- Inerti Interamente frantumati
Curva granulometrica continua 0/20 mm (Figura 1)
- Bitume Filler minerale $8,0 \pm 1,5$
Esso Asphalt 60/70
Percentuale sugli inerti: $4,4 \pm 0,2\%$

b) Prove di Laboratorio

Prove statiche

- Stabilità Marshall Kg 1.000
- Scorrimento mm 4
- Vuoti % 4-5
- Resistenza alla trazione (20°C, 60 mm/min), 23 bar

Prove dinamiche

Le particolari caratteristiche del conglomerato bituminoso scelto consentono di ottenere elevati valori per il modu-

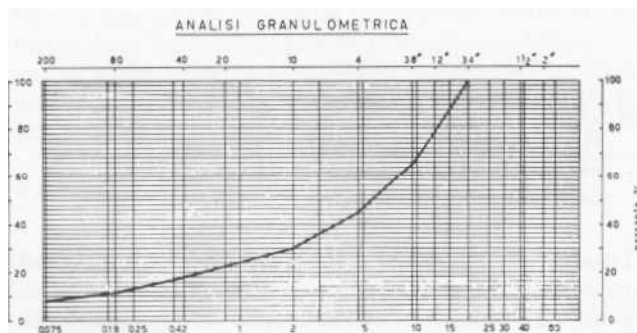


Fig. 1. Curva granulometrica degli inerti per il conglomerato bituminoso.

(*) Bulletin des laboratoires des Ponts et Chaussées, n. 77, maggio 1975. "Choix d'un mode de fabrication de plaques d'enrobés".



Fig. 2. Campione di conglomerato bituminoso preparato per le prove dinamiche (h = 14 cm; $\varnothing = 10$ cm).

lo dinamico oltre che per la resistenza alla fatica e per lo scorrimento dinamico.

I dati medi, qui riportati, sono stati determinati presso il laboratorio del Centro Ricerche della Esso Francese. Ai campioni, preparati con particolari modalità, scelte, peraltro, di recente anche dai laboratori dei "ponts et chaussées" viene applicata una sollecitazione sinusoidale (frequenza 10 Hz) a deformazione controllata, di bassa ampiezza, e contemporaneamente vengono registrati con apposita apparecchiatura i valori del carico. (*)

- Modulo dinamico con deformazione controllata con ampiezza di $2,5 \cdot 10^{-5}$ mm.
 - a 30°C 40.000 bar
 - a 20°C 90.000 bar
- Resistenza a fatica (a 20°C)
 - ampiezza della deformazione iniziale: $5 \cdot 10^{-5}$ mm.
 - tempo di vita $2 \cdot 10^6$ cicli
- Scorrimento dinamico a 30°C
 - ampiezza del carico verticale = 2 bar
 - tempo di vita per raggiungere una deformazione permanente del 7%:
 - Senza pressione laterale $5 \cdot 10^5$ cicli
 - Con pressione laterale di 1.5 bar $1,8 \cdot 10^6$ cicli.

3.5. Caratteristiche del traffico di progetto

Sono stati considerati convogli ferroviari con vetture di tipo europeo:

Lunghezza media dei treni	400 m
Velocità max di progetto	250 Km/h
Distanza tra due assi dello stesso carrello	2,5 m
Distanza tra l'asse dei carrelli di due carrozze vicine	7,20 m
Distanza tra l'asse di due carrelli della stessa carrozza	17,20 m
Carico max per asse	22 tons.

4.0. PROCEDIMENTI DI CALCOLO

La sovrastruttura di progetto per la piattaforma della Diritissima è costituita da uno strato di ballast in pietrisco frantumato ($H_1 = 35$ cm) e da uno strato di misto cementato ($H_2 = 20$ cm) steso sul terreno di sottofondo (Supercompattato).

l'alternativa proposta sostituisce allo strato di misto cementato uno di conglomerato bituminoso mantenendo inalterati gli altri elementi della sovrastruttura.

Lo spessore ottimale dello strato di c.b. è stato calcolato mediante un'analisi comparata dei due tipi di struttura in esame; strato in misto cementato e in c.b., in modo da verificare che:

- la pressione sul terreno di sottofondo sia la medesima per i due casi;
- le sollecitazioni interne che si prevedono per lo strato di c.b., siano compatibili con il materiale stesso alle temperature previste (da -5° a $+30^\circ\text{C}$).

Nel caso specifico la sovrastruttura ferroviaria è stata assimilata ad un sistema elastico a tre strati, ogni strato è supposto infinito in direzione orizzontale, e si è tenuto conto del coefficiente di attrito alle due interfacce.

Si è poi proceduto nel modo seguente:

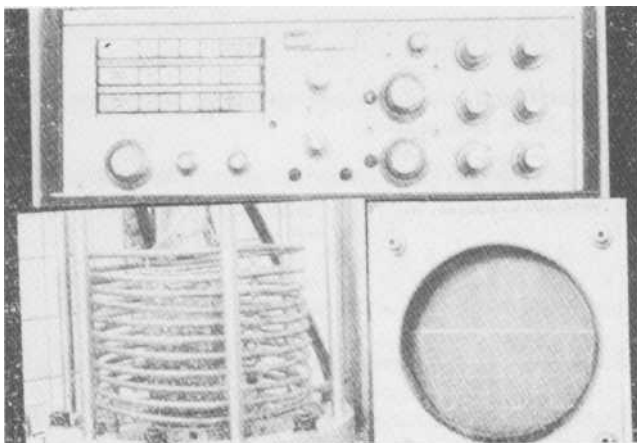


Fig. 3. Particolare dell'apparecchiatura da laboratorio per eseguire le prove dinamiche.

1) Considerando la ruota singola (Asse singolo)

Per stabilire la distribuzione dei carichi su ciascuna traversina è stato applicato per la rotaia il principio della trave su appoggio elastico.

Questa ipotesi è infatti ritenuta valida da diversi autori come Hay5.

L'elasticità della struttura è stata determinata calcolando la deflessione di un sistema a 3 strati mediante la relazione di Kirk⁶.

Per calcolare le sollecitazioni trasmesse nel sottoballast da ogni traversina ci si è serviti del modello matematico Esso per sistemi elastici a più strati basato sulla teoria di Jones e Burmister.

Si è potuto così calcolare l'effetto della ruota singola applicando il principio della sovrapposizione a tutte le traversine interessate al carico.

2) Considerando un sistema a più ruote (Assi multipli)

Si è voluto stabilire se esistono eventuali interferenze tra due ruote dello stesso carrello e, se necessario, tra i due carrelli di due vetture vicine.

4.1. Il sistema del triplo strato elastico e l'elasticità della sovrastruttura (Fig. 4).

La teoria di Burmister considera un carico applicato su di un'area circolare della superficie superiore della struttura, Figura 4.

Siano:

P = carico

a = raggio dell'area di carico

E_1, E_2, E_3 = Moduli elastici degli strati

H_1 e H_2 = spessore degli strati

b = larghezza della base della rotaia = 15 cm.

Considerando una superficie quadrata S_0 al di sotto della rotaia, il raggio dell'area circolare equivalente sarà:

$$a_0 = \sqrt{\frac{b^2}{\pi}} = 8,5 \text{ cm.}$$

La relazione di Kirk dà la deflessione del sistema elastico per una pressione unitaria applicata su S_0 ($p = 1$).

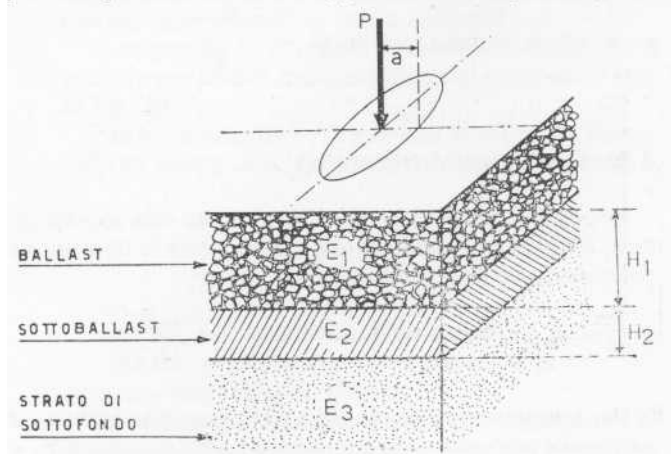


Fig. 4. Sistema a 3 strati secondo la teoria di Burmister.

$$\delta_K = 1.5 \frac{p \cdot a}{E_3} \left[\left(1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \left(0.8 \frac{H_1}{a}\right)^2}} \right) \frac{E_3}{E_1} + \left(\frac{1}{\sqrt{1 + \left(0.8 \frac{H_1}{a} \sqrt[3]{\frac{E_1}{E_2}}\right)^2}} - \frac{1}{\sqrt{1 + \left(0.8 \frac{H_1}{a} \sqrt[3]{\frac{E_1}{E_2}} + 0.8 \frac{H_2}{a}\right)^2}} \right) \frac{E_3}{E_2} + \frac{1}{\sqrt{1 + \left(0.8 \frac{H_1}{a} \sqrt[3]{\frac{E_1}{E_3}} + 0.8 \frac{H_2}{a} \sqrt[3]{\frac{E_2}{E_3}}\right)^2}} \right]$$

Il coefficiente di elasticità sarà $C = \frac{1}{\delta K}$

4.2. Distribuzione delle pressioni alla base della rotaia

Sia P il carico per ruota = 11 Ton, per la relazione riguardante una trave su appoggio elastico si avrà

$$p = \frac{P}{2sb} e^{-x/s} \left[\cos \frac{x}{s} + \operatorname{sen} \frac{x}{s} \right]$$

dove x rappresenta l'ascissa del punto dove è applicato il carico (vedi Fig. 5) ed s è dato da:

$$s = \sqrt[4]{\frac{4EI}{bc}}$$

in cui:

- Modulo elastico dell'acciaio $E = 2,1 \cdot 10^6$ bar
- Momento di inerzia trasversale della sezione della rotaia $I = 3055 \text{ cm}^4$
- Larghezza della base della rotaia $b = 15 \text{ cm}$;

$$c = \text{elasticità del rapporto } C = \frac{1}{\delta K}$$

4.3. Carico sulle traversine

Poiché la rotaia non poggia direttamente sulla sovrastruttura, è necessario studiare dettagliatamente la ripartizione del carico per ciascuna traversina, dove

$$l, \text{ larghezza della traversina} = 25 \text{ cm}$$

$$e, \text{ interasse tra la traversina} = 60 \text{ cm}$$

Per integrazione rispetto ad x sarà possibile ottenere il carico alla sommità della sovrastruttura tra due punti X_1 e X_2 .

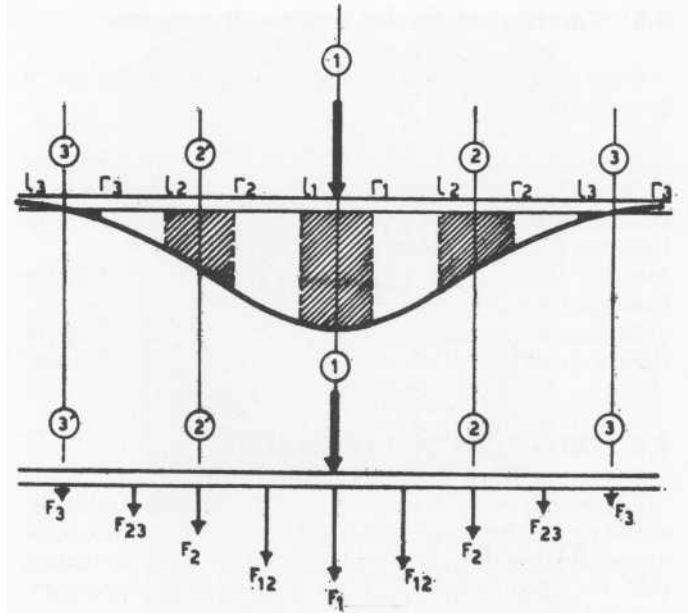


Fig. 5. Distribuzione del carico e sollecitazioni risultanti.

$$F(x_1, x_2) = \int_{x_1}^{x_2} b.p. dx = \frac{P}{2} \left[\cos \frac{x_1}{s} e^{-x_1/s} - \cos \frac{x_2}{s} e^{-x_2/s} \right]$$

Siano r_i ed l_i le ascisse del lato destro e sinistro degli estremi della traversina N_i .

Si assume che il carico della ruota sia applicato al centro della traversina N. 1.

Si calcolino i carichi corrispondenti ad ogni intervallo $l_i r_i$ e $r_i l_i + 1$.

Poi si applichi il sistema di distribuzione dei carichi rappresentato in Figura 5 in sostituzione del sistema di tipo continuo.

Combinando le sollecitazioni relative agli intervalli di tipo $r_i l_i + 1$ si potrà valutare il carico P_i relativo alla traversina N.

4.4. Distribuzione delle pressioni in corrispondenza delle traversine

Poiché solo una parte della traversina è in contatto con il ballast (Fig. 6) la superficie sottoposta al carico sarà:

$$s_1 = L \times l$$

dove $L = 70 \text{ cm}$, $l = \text{larghezza traversa}$.

Il raggio dell'equivalente area di impronta circolare sarà $a = 24 \text{ cm}$ e la pressione sotto la traversina N. i.

È così possibile calcolare le sollecitazioni in corrispondenza di ogni traversina ed applicando il principio di sovrapposizione calcolare le tensioni su ogni interfaccia del sistema a 3 strati, alle varie distanze dall'asse di carico.

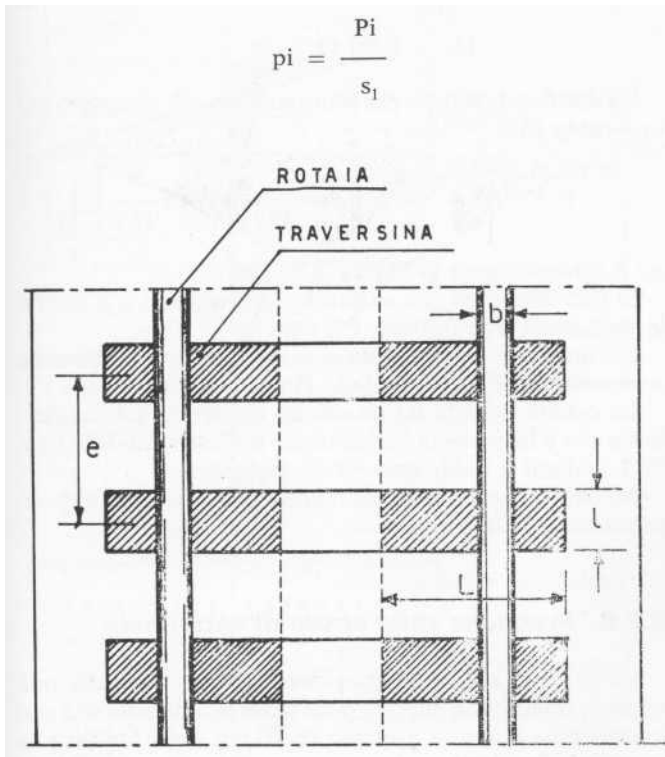


Fig. 6 - Superficie delle traversine sottoposte al carico

5.0. RISULTATI OTTENUTI

5.1. Struttura 1 - Sottoballast in misto cementato

E1	= 4.000 bar
E2	= 7.500 bar
E3	= 2.000 bar
H1	= 35 cm
H2	= 20 cm

Deflessione del piano di appoggio sotto una pressione unitaria

$$\delta_K = 0,337 \cdot 10^{-2} \text{ cm.}$$

Distribuzione delle pressioni sul piano di appoggio (1 ruota)

$$p = 7,48 e^{-\frac{x}{49}} \left[\cos \frac{x}{49} + \sin \frac{x}{49} \right]$$

Deflessione del piano di appoggio sotto una pressione versine

Si è constatato che solo cinque traversine sono interessate al carico (Fig. 7), ciò è in accordo con le informazioni raccolte presso le ferrovie francesi ed inglesi che si basano su esperienze di campo.

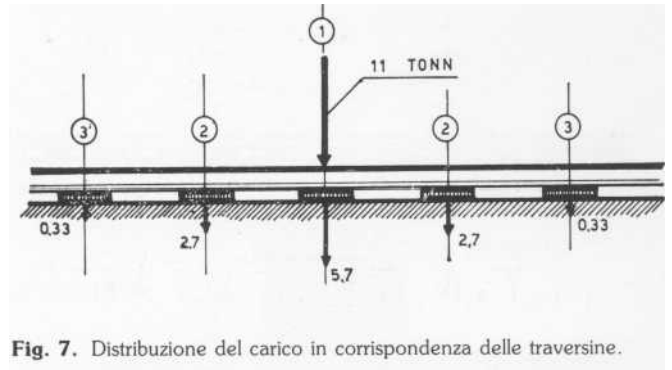


Fig. 7. Distribuzione del carico in corrispondenza delle traversine.

Pressioni sullo strato di sottofondo

Il diagramma riportato in Figura 8 mostra che esiste una reciproca influenza tra le due ruote dello stesso carrello e indipendenza tra due carrelli adiacenti.

Si può inoltre rilevare che il valore della pressione esercitata sullo strato di sottofondo subisce dopo 50.000 cicli di sollecitazioni dinamiche un aumento da 0,7 a circa 1,0 bar. Ciò non avviene per il c.b. la cui resistenza alle sollecitazioni di trazione e compressione è praticamente costante nel tempo.

5.2. Struttura 2 - Sottoballast in conglomerato bituminoso

Modulo dello strato di c.b.

La rigidità di un c.b. soggetto a ripetuti carichi è funzione della temperatura e della frequenza.

Sono state prese in considerazione 3 temperature

$$10^{\circ}\text{C} \quad -20^{\circ}\text{C} \quad -30^{\circ}\text{C}$$

La frequenza è stata calcolata in base all'intervallo di tempo durante il quale lo status delle tensioni in un determinato punto dello strato è influenzato dal passaggio di un carrello che, come si è visto precedentemente, rappresenta un carico indipendente.

In entrambe le strutture, l'influenza del carrello si estende per circa 6 metri alla base del sottoballast (vedi Fig. 8).

Poiché la velocità del treno è di 250 Km/h, l'intervallo di tempo durante il quale si esercita lo sforzo è

$$T = \frac{0,006 \times 3.600}{250} \approx 0,1 \text{ sec.}$$

cioè una frequenza di 10 Hertz.

La variazione del modulo del c.b. in funzione delle temperature misurato in laboratorio a 10 Hertz, è indicato in Figura 9.

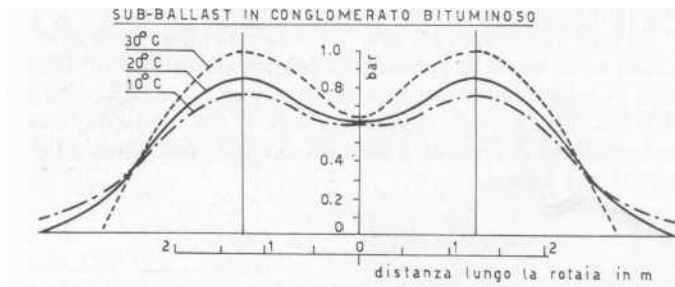
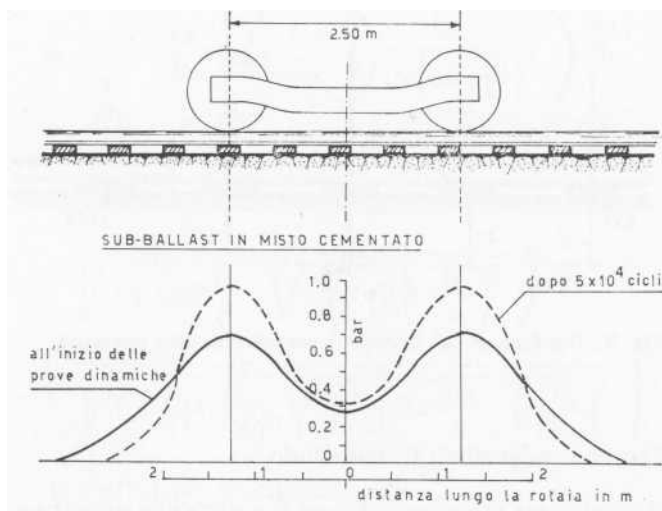


Fig. 8 - Andamento delle pressioni sullo strato di sottofondo.

5.2.1. Procedimenti di calcolo per $T = 20^{\circ}\text{C}$

E1	=	4.000 bar
E2	=	90.000 bar
E3	=	2.000 bar
H1	=	35 cm
H2	=	12 cm

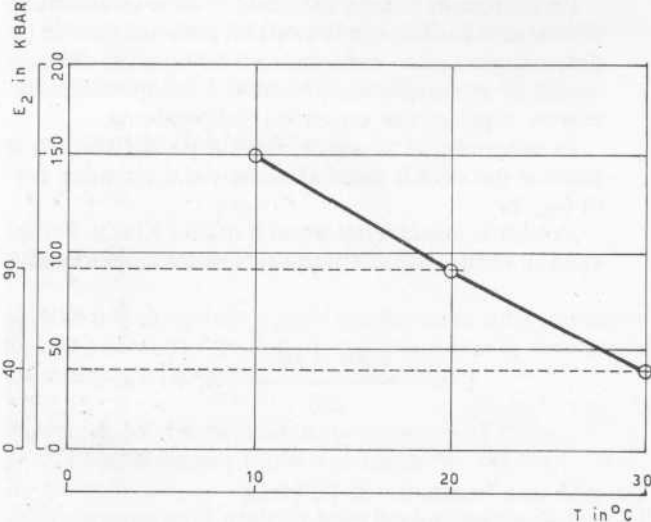


Fig. 9. Variazione del modulo del conglomerato bituminoso in funzione delle temperature.

La deflessione del piano di appoggio sottoposto a pressione unitaria è

$$\delta K = 0,307 \cdot 10^{-2} \text{ cm.}$$

La distribuzione delle pressioni sul piano di appoggio per una ruota sarà

$$p = 7,65 e^{-\frac{x}{47,9}} \left[\cos \frac{x}{47,9} + \text{sen} \frac{x}{47,9} \right]$$

ed è schematizzata in Figura 7.

Si può osservare che entrambe le strutture 1 e 2 hanno la medesima distribuzione dei carichi.

Ciò analogamente a quanto è stato rilevato nel corso delle sperimentazioni eseguite dalle *Ferrovie Giapponesi*.

La rigidità del c.b. ha un effetto moderato sulla deflessione che è fortemente condizionata dall'elasticità dello strato 1 (ballast) e dallo strato 3 (Sottofondo).

Ne deriva che in pratica non esiste una differenza apprezzabile tra le due strutture.

5.2.2. Pressione sullo strato di sottofondo

Lo strato di c.b. dello spessore di 12 cm permette una migliore ripartizione del carico sul terreno, nonostante il suo spessore sia inferiore a quello di 20 cm della fondazione in misto cementato.

L'effetto della temperatura è illustrato dalle 3 corrispondenti curve riportate in Figura 8.

I punti di massima sollecitazione sono dello stesso ordine di quelli ottenuti per la struttura 1 dopo 50.000 cicli di ricarica.

5.2.3. Tensioni interne

Come riportato in Figura 10, mentre le pressioni verticali a non superano ma il valore di 2,5 bar gli sforzi di trazione hanno un valore massimo di 10,8 bar perfettamente sopportabile dal c.b., come è stato possibile stabilire in occasione di prove su strada⁹.

Questo valore relativamente modesto e l'alta resistenza allo scorrimento della miscela permettono di scartare ogni possibilità di deformazioni plastiche nel tempo.

6.0. TRONCHI REALIZZATI SULLA DIRETTISSIMA ROMA - FIRENZE

La soluzione a bitume con strato dello spessore 12 cm è stata presentata ai competenti uffici delle *Ferrovie dello Stato*, che ne hanno riconosciuta la validità e ne hanno autorizzata la realizzazione sui tronchi in costruzione assegnati ai consorzi SA.MO.GI. (SACOP-MOVITER-GIROLA) e MANFREDI-VIANINI (Fig. 11, 12, 13 e 14).

Durante l'esecuzione dei lavori è stato possibile verificare la buona corrispondenza delle caratteristiche meccaniche del c.b. in opera con quelle analizzate in laboratorio.

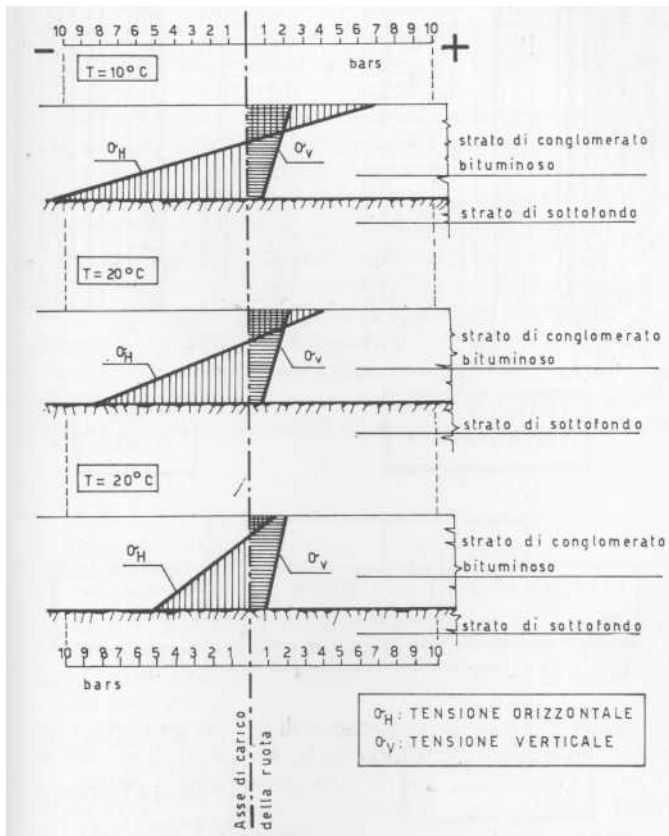


Fig. 10. Distribuzione delle tensioni nello strato di sottoballast in conglomerato bituminoso.

Un accurato studio e controllo delle proprietà del materiale è infatti un elemento essenziale che oltre ad ottimizzare le operazioni di cantiere, ne garantisce durante l'esercizio elevate prestazioni da parte del c.b. in opera.

Inoltre le operazioni di cantiere hanno permesso di evidenziare in termini di tempi e modalità operative i vantaggi legati all'adozione della soluzione a bitume in sostituzione di quella a cemento prevista dal progetto originario.

È stato infatti possibile ridurre in modo consistente i relativi tempi di posa in opera e rendere immediatamente agibile la piattaforma ai mezzi di cantiere per la stesa della massiciata e successivo armamento della linea.

Il controllo della produzione del c.b. è stato eseguito direttamente sul tracciato con l'assistenza del laboratorio mobile della ESSO ITALIANA nei tratti dalla piana del Tevere a Stimigliano e da Incisa a Firenze. Le caratteristiche tecniche del materiale in opera hanno sempre ampiamente rispettato i limiti richiesti dal Capitolato Speciale appositamente preparato, i cui valori più significativi sono stati esposti al paragrafo 3.4.

6.1. Vantaggi operativi

Le applicazioni sinora eseguite sulla Direttissima Roma-



Fig. 11. Posa in opera del conglomerato bituminoso tra 1° e 2° lotto.

Firenze hanno posto in evidenza i seguenti vantaggi operativi:

- tempi di stesa dimezzati rispetto a quelli del misto cementato. Sono stati stesi più di 5.000 m² al giorno contro i 2.000-2.500 del misto cementato;



Fig. 12. 1° Lotto. Cantiere di stesa del conglomerato bituminoso completo di vibrofinitrice, rullo gommato e rullo metallico.

- immediata agibilità per il traffico di cantiere e per la posa in opera del ballast;
- impiego di minori quantitativi di inerti pregiati (40% in meno) elemento questo importantissimo specie nelle zone ove ne sia difficile il reperimento;
- possibilità di ottenere da impianti qualificati un materiale omogeneo ad elevate prestazioni e di qualità controllata.

I vantaggi tecnici ed operativi di queste prime applicazioni consentono così di trarre un positivo bilancio a favore di questa soluzione.



Fig. 13. 1° lotto. Laboratorio mobile per il controllo dei materiali in opera.

7.0. SPERIMENTAZIONE IN OPERA

Per verificare la rispondenza del calcolo di dimensionamento alle effettive sollecitazioni (carichi e deformazioni) che si hanno alla interfaccia conglomerato bituminoso-rilevato, e anche per altri tipi di sottoballast quali quelli a misto cementato e a misto con loppe d'altoforno, sarebbe opportuno poter rilevare dette sollecitazioni, il che consentirebbe in definitiva un confronto tecnico-economico tra i diversi tipi di subballast sino ad ora messi in opera.

A questo proposito si deve tener presente che praticamente manca qualsiasi esperienza di un certo rilievo nel settore ferroviario, mentre i dati del settore autostradale, che sono veramente abbondanti e sostenuti da sperimentazioni anche ad alto livello di qualificazione quale l'esperimento AASHO, non sono trasferibili al settore ferroviario per il diverso tipo di traffico, le differenti prestazioni richieste, la sostanziale diversità della sovrastruttura.

Si pone pertanto il problema del rilevamento di queste sollecitazioni, rilevamento che ovviamente va effettuato in modo da assicurare la conoscenza reale sia delle deformazioni che delle pressioni nei loro valori assoluti, nella loro distribuzione areale, nelle loro variazioni relative nel tempo e tutto ciò per fenomeni statici (o quasi statici) e dinamici.

Accanto alle sollecitazioni vanno rilevate le velocità dei convogli e, nel caso specifico del conglomerato bituminoso, le temperature.

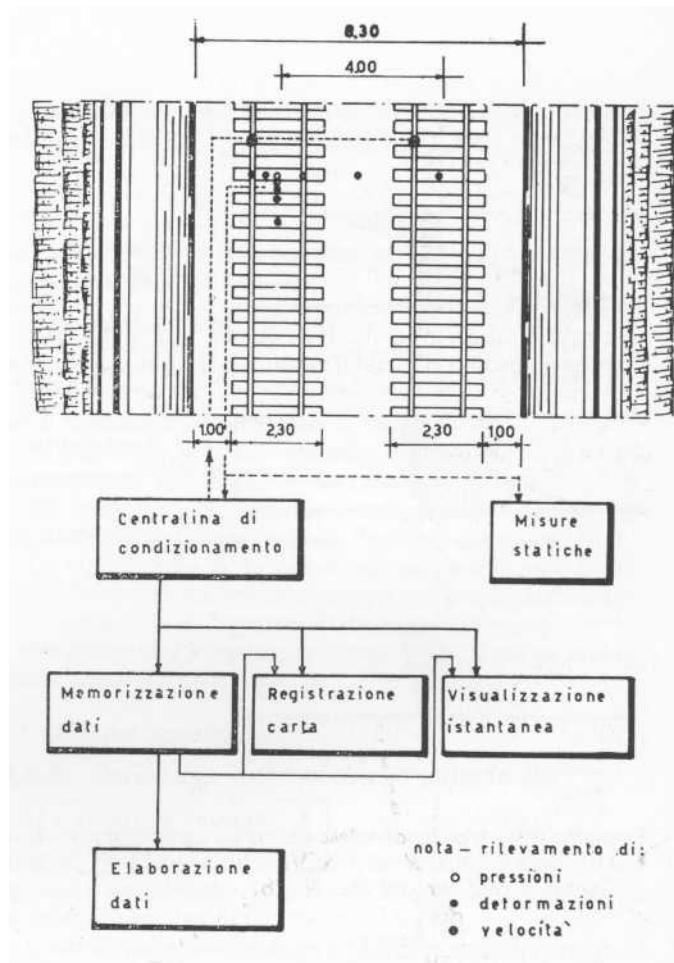


Fig. 14. Schema di massima della disposizione dei trasduttori per il rilevamento delle sollecitazioni e schema a blocchi del funzionamento della struttura elettronica.

Tutte queste misure vanno affiancate alla parallela sperimentazione di laboratorio intesa a determinare il valore del modulo dinamico del conglomerato bituminoso, elemento questo necessario per conoscere le pressioni a mezzo delle deformazioni rilevate, una volta note le modalità di applicazione dei carichi.

Oltre al rilevamento di questi dati e la loro visualizzazione istantanea si rende necessaria la registrazione sia su carta (per una analisi speditiva di alcuni particolari fenomeni) sia su banda magnetica (memorizzazione per una ulteriore e completa analisi di tutti i fenomeni).

Questo problema è stato impostato nei suoi termini generali nel seguente modo:

- L'indagine sullo stato tensionale deve essere tale da permettere una conoscenza qualitativa e quantitativa delle sollecitazioni che si verificano al transito dei convogli alla interfaccia sottoballast-rilevato per un'area sufficiente a definire il fenomeno in modo completo.
- La collocazione dei trasduttori più idonea a questo fine è apparsa essere quella rappresentata in Figura 15; i sei disposti trasversalmente al binario dovrebbero rilevare in particolare le sollecitazioni che si hanno al transito sia di un solo convoglio, che di due in senso contrario e anche nello stesso senso (la linea può essere banalizzata); i cinque in senso longitudinale lungo la mezzera di

un binario dovrebbero rilevare in particolare le sollecitazioni che si hanno al transito del convoglio (come detto prima, solo cinque sono le traversine interessate dal carico di un asse).

- Il rilevamento della velocità deve essere eseguito per entrambi i binari. Per le temperature sarà necessario disporre di almeno tre punti di misura.

La fase più delicata dell'intera sperimentazione è quella relativa alla messa in opera degli estensimetri elettrici a resistenza o trasduttori di deformazione (Strain-Gage). In effetti la necessaria collocazione all'interfaccia sottoballast-rilevato pone il problema della loro collocazione "prima" della stesa del conglomerato bituminoso, ciò significa che non può essere evitato un danneggiamento, parziale o totale, degli elementi sensibili. Da qui la necessità di avere per ciascun punto misura la possibilità di sostituire l'estensimetro dan-

neggiato in modo irreparabile con altro già in posto, e di disporre di una strumentazione di rilevamento che possa egualmente operare con estensimetri che si trovano in condizioni di lavoro non usuali.

E questa una strumentazione sofisticata e non standard che ha già dato buona prova negli esperimenti condotti dalla S.I.T.E. S.p.a. per conto della Soc. Autostrade e per l'ANAS.

Tutto il complesso di misura e di rilevamento può essere sintetizzato secondo lo schema a blocchi di Figura 15.

Il vantaggio derivante da una esatta conoscenza dei valori delle sollecitazioni potrà permettere di valutare con maggiori elementi di giudizio i parametri del dimensionamento della sovrastruttura, il che in definitiva potrà comportare un sensibile beneficio economico.

BIBLIOGRAFIA

- 1) G. AUSSEDT, C. AZIBERT, F. MONNIOT. "Méthode pratique pour le dimensionnement des chaussées à la fatigue". Revue Générale des Routes et des Aerodromes. N. 495, febbraio 1974.
- 2) G. AUSSEDT, C. AZIBERT. "Le mecanisme de l'orniérage des couches de base". Revue Générale des Routes et des Aerodromes. N. 498, maggio 1974.
- 3) M. PISANI. "Valutazione della resistenza al gelo di miscele bituminose ed idrauliche negli strati di base e fondazione". Esso Italiana, 1973.
- 4) G. CHOMTON, J.M. PENNEVEYRE, J. BARDET. "Conception Moderne des enrobés bitumineux routiers". Revue Générale des Routes et des Aerodromes. N. 487, maggio 1973.
- 5) W.W. HAY. "Railroad Engneering". Voi. 1, John Wiley e Sons, New York.
- 6) J.M. KIRK. "Calculating the thickness of road courses". AIPCR, Rome 1964.
- 7) D.M. BURMISTER. "The generai theory of stresses and displacements in layered systems". Journal of Applied Physics. Voi. 16 (1945).
- 8) Y. WASHINO. "Experiments on Railway track with asphalt ballast". An Asphalt Institute publication.
- 9) F. DELLA SCALA, M. COSTANTINI. "Una nuova stesa sperimentale di sovrastruttura full-depth dimensionata in termini di deformazione permanente". A.I.P.C.R., XVII Convegno, Venezia 1974.