



**STUDIO SPERIMENTALE SULLE
PAVIMENTAZIONI
STRADALI RISCALDATE**

Felice Giuliani

Dipartimento di Ingegneria Civile - Università degli Studi di Parma
Parco Area delle Scienze 181/A, 43100 Parma
Tel: +39.0521.905905 - Fax: +39.0521.905924
E-mail: felice.giuliani@unipr.it

STUDIO SPERIMENTALE SULLE PAVIMENTAZIONI STRADALI RISCALDATE

FELICE GIULIANI – Dipartimento di Ingegneria Civile – Università di Parma

SOMMARIO

Il piano di manutenzione invernale di una società di gestione di infrastrutture stradali comprende annualmente un notevole onere di spesa per l'invio di squadre di operatori addetti allo spargimento di sali o agenti deicing/anti-freezing sui manti stradali. Tale indispensabile operazione comporta un notevole consumo annuo di queste sostanze e quindi un costo che è strettamente legato, oltre al tipo di sostanza impiegato, anche alla conformazione geometrica e della tipologia della sezione stradale. Nell'ottica di proporre una soluzione tecnologicamente innovativa al problema della manutenzione stradale invernale, si presentano i risultati di una indagine sperimentale sul possibile uso di pavimentazioni flessibili riscaldate per effetto Joule. L'applicazione, eseguita in scala di laboratorio, ha permesso di proporre alcuni accorgimenti tecnologici compatibili con le caratteristiche termiche del conglomerato bituminoso che consentono di realizzare un circuito riscaldante efficace ed economico.

ABSTRACT

The plan of maintenance of managing company of road infrastructures requires yearly high expenses for the operator teams which are in charge of salt or de-icing substance spreading on road surfaces. This is particularly onerous in regions where low temperatures or ice formation on road surfaces occur frequently. Such a compulsory spreading operation implies yearly a significant consumption of the above substances, and, hence, a cost which is strongly related, along to the type of substance used, to the geometric configuration of the road.

In the light of the above, the present paper illustrates the results of an experimental investigation; a new anti-icing technique is being proposed, which consists in heating the wearing course by taking advantage of the Joule effect and using resistive metal elements energised by electric current. The experimental investigation has made use of laboratory equipment in order to define and test the technical solutions proposed.

1. INTRODUZIONE

Con il termine "anti-icing" si intendono tutte quelle operazioni idonee a prevenire la formazione e lo sviluppo di neve o ghiaccio, in genere, attraverso l'applicazione di sostanze chimiche atte ad inibirne il legame con il manto stradale. Un programma di manutenzione invernale delle pavimentazioni stradali realmente efficiente pone notevole attenzione a questa fase preventiva, soprattutto in considerazione delle caratteristiche intrinseche della strada e del livello di servizio atteso.

Per poter applicare con successo un programma di anti-icing, è indispensabile una capace e rapida competenza decisionale ed applicativa nella scelta del tipo di intervento più idoneo a mantenere accettabili le condizioni della pavimentazione.

Risulta quindi necessario che queste operazioni inizino prima o in concomitanza dell'arrivo dell'evento meteorico; si deve cioè essere in grado di prevedere con una certa sicurezza l'inizio ed il tipo di precipitazione nevosa.

Allo stato attuale, l'intervento si concretizza nello spargimento di sostanze chimiche, in genere in soluzioni saline acquose di concentrazione opportuna [1].

In presenza di conglomerati bituminosi porosi, tipici delle pavimentazioni stradali drenanti-fonoassorbenti, il complesso delle operazioni anti-icing risulta particolarmente delicato ed oneroso [2]. In particolare, la intrinseca porosità di queste miscele, che accelera lo smaltimento delle acque meteoriche o della neve disciolta, comporta un rapido dilavamento delle sostanze saline disciolte, implicando l'onere di interventi delle squadre di manutenzione più rapidi e numerosi e quindi economicamente più pesanti. In genere, per i conglomerati drenanti, il dosaggio di sali risulta più abbondante, rispetto ad un manto di usura tradizionale, di circa il 30%, anche se l'uso di sali binari $\text{CaCl}_2 + \text{NaCl}$, permette una migliore resa del trattamento [3].

Oltre ad un aspetto economico, l'eccessiva quantità di soluzione salina impiegata per questi tipi di manti, amplifica i noti problemi ambientali connessi con lo smaltimento delle acque ricche di cloruri dalla piattaforma stradale e con l'azione aggressiva che queste ultime hanno soprattutto nei confronti dei manufatti in calcestruzzo armato [4].

Un metodo alternativo all'impiego dei sali è quello di predisporre un programma anti-icing mediante la posa in opera, in fase di costruzione o manutenzione della pavimentazione, di un sistema di riscaldamento del manto stradale basato sul principio fisico dell'effetto Joule. In questo modo, prima e durante la precipitazione nevosa, la superficie stradale può mantenere una temperatura programmata.

La presente indagine sperimentale di laboratorio ha permesso di definire la tipologia di materiale resistivo, i criteri di posizionamento ottimale, le condizioni di alimentazione in sicurezza del circuito riscaldante e di valutare le prestazioni ottenute.

2. INDAGINE SPERIMENTALE

2.1 Progetto del circuito di riscaldamento

In principio fisico che permette di limitare o evitare la formazione di una coltre di ghiaccio duratura sulla superficie stradale, è quello di indurre con una tecnologia semplice, un riscaldamento del manto stradale fino ad una temperatura superiore al punto di congelamento dell'acqua o comunque tale da rendere più efficace l'eventuale presenza del sale. Il riscaldamento è indotto in un elemento resistivo a seguito del passaggio di una corrente elettrica. Questo principio si basa sulla nota equazione di Joule:

$$W = R I^2 \quad (1)$$

dove W è la potenza ottenuta sotto forma di calore, R è la resistenza dell'elemento ed I è la corrente che lo attraversa.

Ai fini di individuare un sistema che, basato sulla equazione di Joule, possa risultare economico e tecnicamente efficace in ambito stradale, è necessario ricercare un materiale conduttivo ma ad alta resistività ovvero che permetta il passaggio della corrente ma che allo stesso tempo ne dissipi buona parte sotto forma di calore.

In letteratura, il carbonio ed nichel-cromo risultano i materiali più indicati allo scopo, avendo infatti un valore alto di resistività, pari a circa $100 \mu\Omega \cdot \text{cm}$.

Tuttavia, per l'impiego proposto, la scelta del filamento resistivo deve garantire un ottimo riscaldamento per bassi valori di corrente fornita, un tempo lungo di funzionamento, un costo commerciale decisamente contenuto e, non in ultimo, una ottima resistenza meccanica, in modo tale da contenere le sollecitazioni che possono essere indotte nella fase di posizionamento al suolo e di stesa del conglomerato bituminoso.

Numerose indagini preliminari svolte in scala di laboratorio hanno permesso di individuare nella lega denominata alkrothal (15,0% Cr, 4,5% Al, 80,5% Fe) il filamento più idoneo.

Sperimentalmente, tale filamento, sottoposto ad una determinata tensione, raggiunge quasi istantaneamente la temperatura prevista voluta, senza i ritardi di tempo dovuti ai transitori termici che, in genere, precedono il funzionamento a regime. Per quel che riguarda il passaggio della corrente nella pavimentazione stradale, si è ricorso ad uno schema elettrico [2] che si compone sostanzialmente di due elementi fondamentali: un trasformatore di isolamento ed un variatore di tensione. Il primo ha lo scopo di proteggere l'utente, presenta un rapporto di trasformazione 1:1 e lavora con una corrente massima di 0,8 A. Il variatore di tensione permette un campo di alimentazione alternata da 2,5 V a 260 V e può lavorare con una corrente massima nominale di 2,5 A anche se è stato dimensionato per sopportare una corrente di 5,0 A. All'uscita del variatore di tensione sono presenti i due cavi che forniscono tensione ai filamenti resistivi immersi nel conglomerato bituminoso. Due fusibili tutelano il circuito da eventuali sovracorrenti; un Voltmetro, in parallelo, ed un Amperometro, in serie, consentono di poter effettuare la sperimentazione con un costante controllo delle misure elettriche.

2.2 Preparazione dei campioni di prova

L'indagine di laboratorio si è basata sulla misura delle variazioni di temperatura in campioni di pavimentazione stradale di dimensioni significative (50cm x 50cm) strumentati con il circuito elettrico sopra descritto. Gli elementi di pavimentazione sono costituiti da uno strato di base in conglomerato bituminoso semichiuso di 120 mm di spessore, sul quale vengono stesi per tutta la lunghezza del campione, prima i filamenti resistivi, quindi una mano di attacco in emulsione bituminosa modificata ed in ultimo lo strato in conglomerato bituminoso chiuso di tipo tradizionale di 70 mm di spessore.

I filamenti resistivi sono stati preventivamente piegati con forma sinusoidale di ampiezza di 24 mm e di lunghezza d'onda di 8 mm, e stesi per tutta la larghezza del campione di pavimentazione.

Per la preparazione dei campioni, di geometria inusuale per la scala delle indagini di laboratorio sui conglomerati bituminosi, si è fatto uso di un originale sistema di compattazione idraulico progettato e realizzato presso l'Università di Parma [5], che emula perfettamente il passaggio dei rulli compattatori di cantiere, con asse di carico regolabile fino a 10 tonnellate e velocità programmabile (Figura 1).

Il passo con il quale scegliere il distanziamento ottimale degli elementi riscaldanti all'interno dello manto drenante è una variabile del problema, funzione della forma del filo adottata, della temperatura dell'elemento riscaldante e della uniformità di temperatura che si vuole raggiungere sulla superficie della pavimentazione drenante.

In tale esperienza di laboratorio sono state ricercate diverse soluzioni.

2.3 Risultati Sperimentali

Diversi campioni sono stati strumentati posizionando i filamenti resistivi a 30 mm dalla sommità, tutti paralleli fra di loro. Una variabile dell'esperimento è il passo con il quale i fili sono stati posizionati (50, 100, 150, 200 mm).

Se le soluzioni che prevedevano un passo di 50 e 100 mm sono risultate eccessive, sia per l'economia del progetto sia per il riscaldamento prodotto, le soluzioni di 150 e 200 mm sono risultate più interessanti.



Figura 1 – Preparazione ed allestimento dei campioni di prova.

In particolare, nel caso di filamenti posti nel campione con passo di 200 mm (Figura 2), la misura delle temperature presenti all'interno dell'elemento di pavimentazione, sono state fatte mediante l'uso di termocoppie tipo rame-constantana posizionate in diversi punti ed a diverse profondità all'interno dello strato in conglomerato bituminoso chiuso (Figura 3).

L'alimentazione del circuito è stata progettata per imporre la temperatura massima raggiungibile da ogni singola resistenza non superiore a 60°C. In base alla geometria di ciascun filo di alkrothal, lungo complessivamente 730 mm, si è ottenuta una resistenza finale pari a $R = 11.500 \Omega$, una tensione finale ed una corrente totale per i due filamenti pari rispettivamente a 7,7 V e 1,33 A. Ciascun filamento è quindi attraversato da 0,66 A e sviluppa una potenza $P = 5,0 \text{ W}$.

Il passo dei filamenti di 20 cm ha fornito risultati che si apprezzano in particolar modo studiando il grafico dell'incremento medio della temperatura all'interno del campione (Figura 4). Le curve, alle diverse profondità, presentano un andamento crescente che soddisfa le esigenze per cui il sistema è stato concepito.

Al fine di favorire una migliore distribuzione del calore in punti distanti dal filamento, è stata aumentata l'ampiezza della sinusoide e ridotto il passo dei filamenti (allestimento con un passo dei filamenti di 15 centimetri con ampiezza di 2,5 centimetri, Figura 5). Tuttavia, in tal caso, è stato imposto il valore di potenza dissipata ovvero è stata fissata la corrente che deve circolare nel circuito affinché ogni filamento resistivo eroghi una potenza di circa 5,0 W. Tale soluzione comporta una diminuzione di corrente impiegata e quindi una maggiore economia del progetto.

Le grandezze imposte per ottenere circa 5,0 W di potenza su ogni filamento valgono:

$$V = 9,5V \quad I_1 = \frac{9,5}{17,2} = 0,55A \quad I_2 = \frac{9,5}{18,7} = 0,51A \quad I_3 = \frac{9,5}{19,0} = 0,50A \quad (2)$$

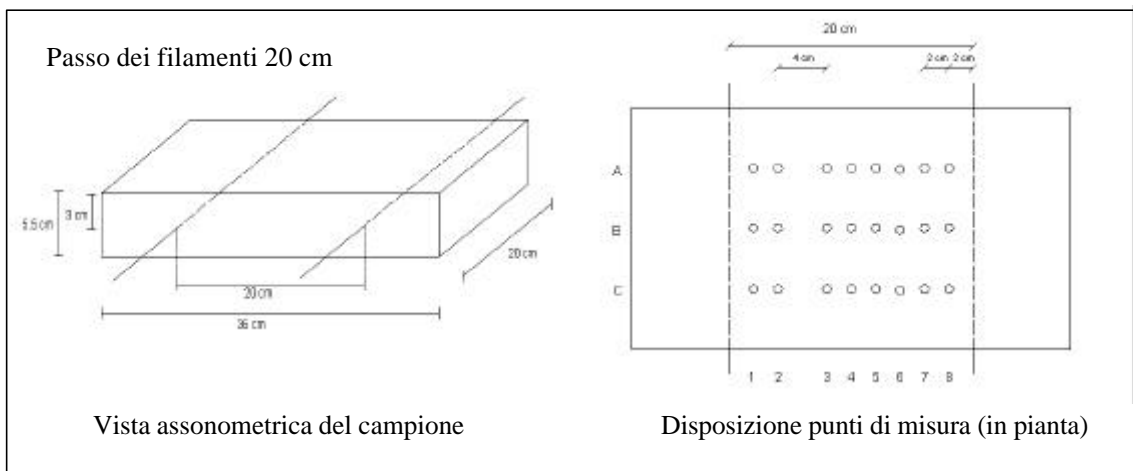


Figura 2 – Schema del campione strumentato (passo 20 cm).

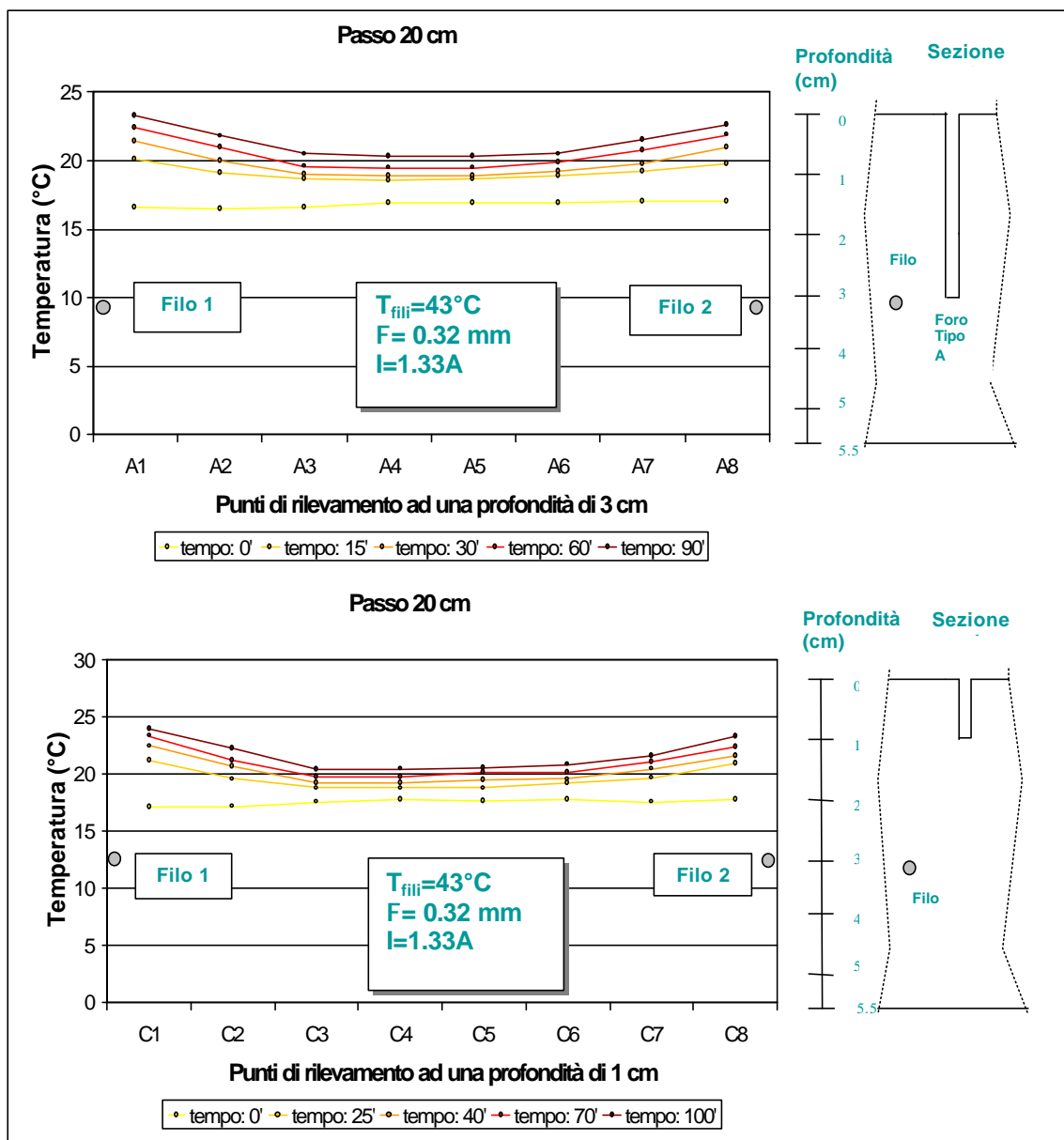


Figura 3 – Andamento delle temperature all'interno del campione (passo 20 cm).

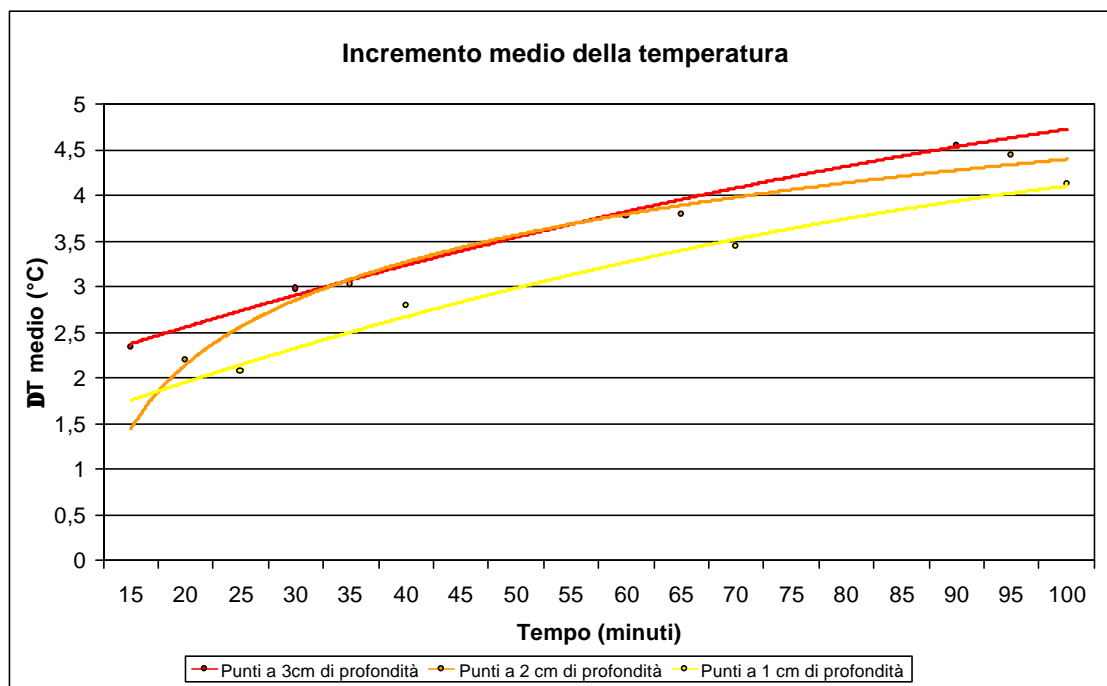


Figura 4 – Variazione di temperatura all'interno del campione (passo 20 cm).

Questa prova ha fornito i risultati migliori, dato che ha abbinato un giusto ed uniforme incremento della temperatura su tutto il provino ad un minimo impiego di corrente elettrica (Figure 6-7). La temperatura in corrispondenza del contatto tra filamento e conglomerato bituminoso risulta inferiore a 35°C, compatibile con le temperature di impiego in opera del bitume stradale [6-7]. In questa configurazione, l'incremento medio di temperatura dopo circa 60 minuti dall'attivazione è superiore a 4°C e soprattutto tale valore risulta sostanzialmente uniforme all'interno del manto di usura. L'immagine prodotta mediante analisi termografica permette di visualizzare la distribuzione delle temperature sulla superficie del campione strumentato (Figura 8).

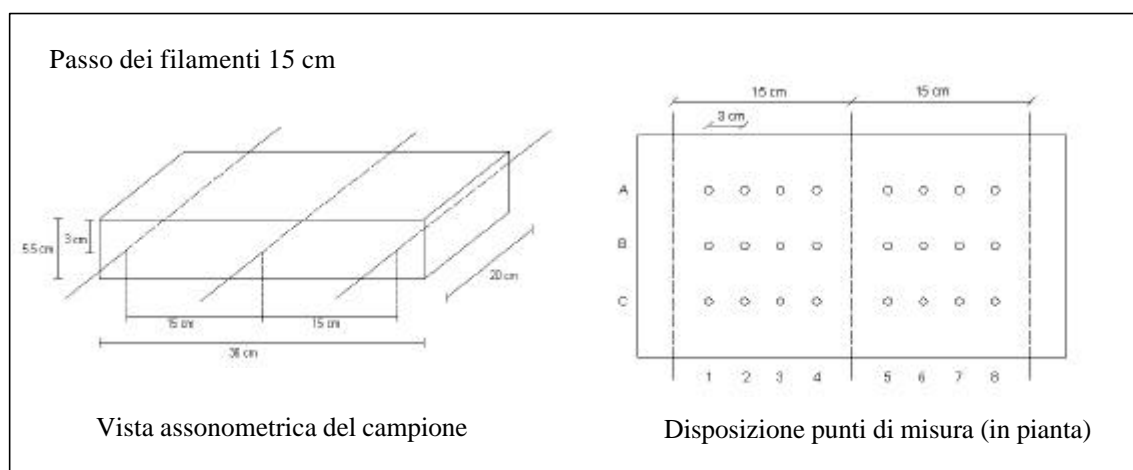


Figura 5 - Schema del campione strumentato (passo 15 cm).

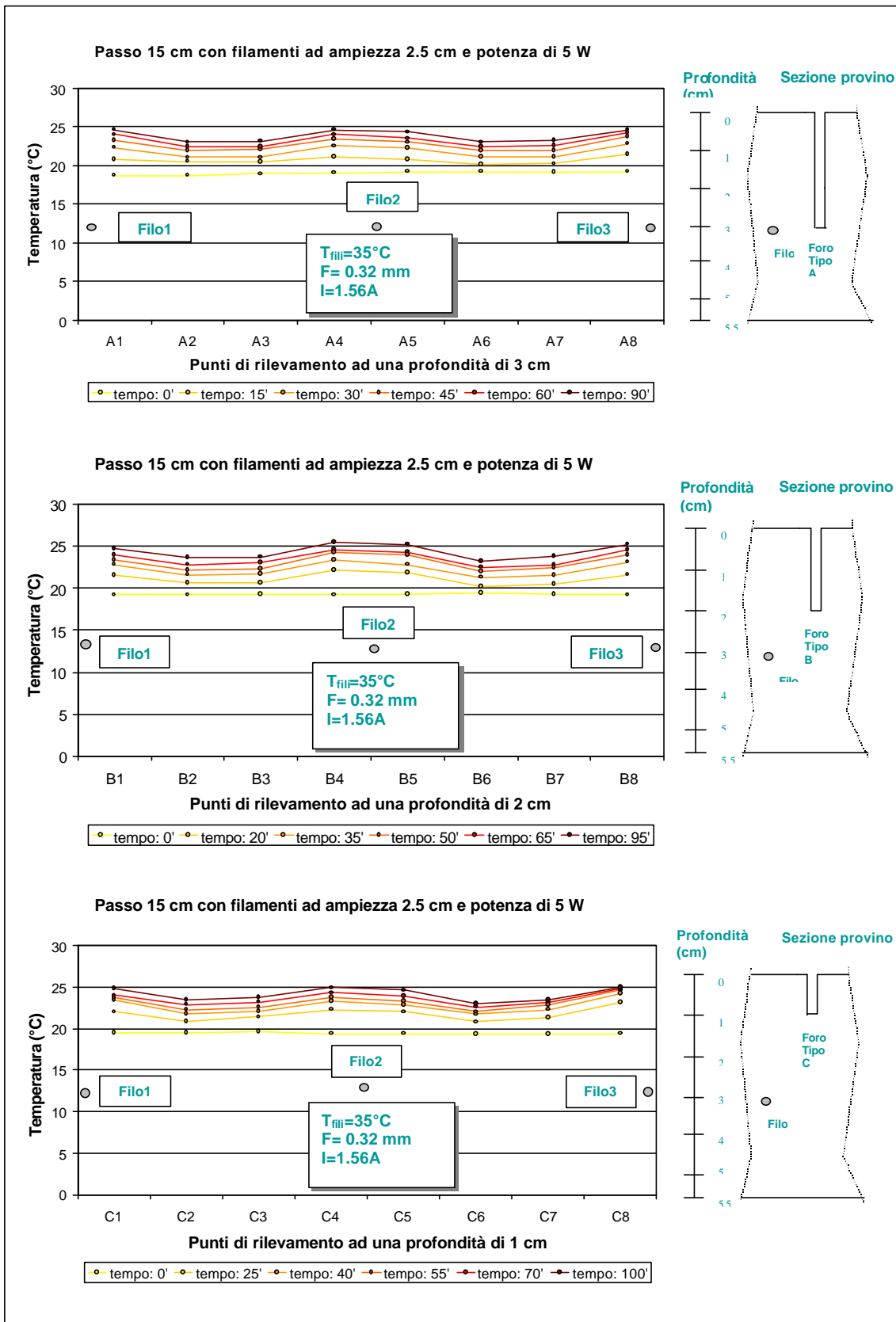


Figura 6 – Andamento delle temperature all'interno del campione (passo 15 cm).

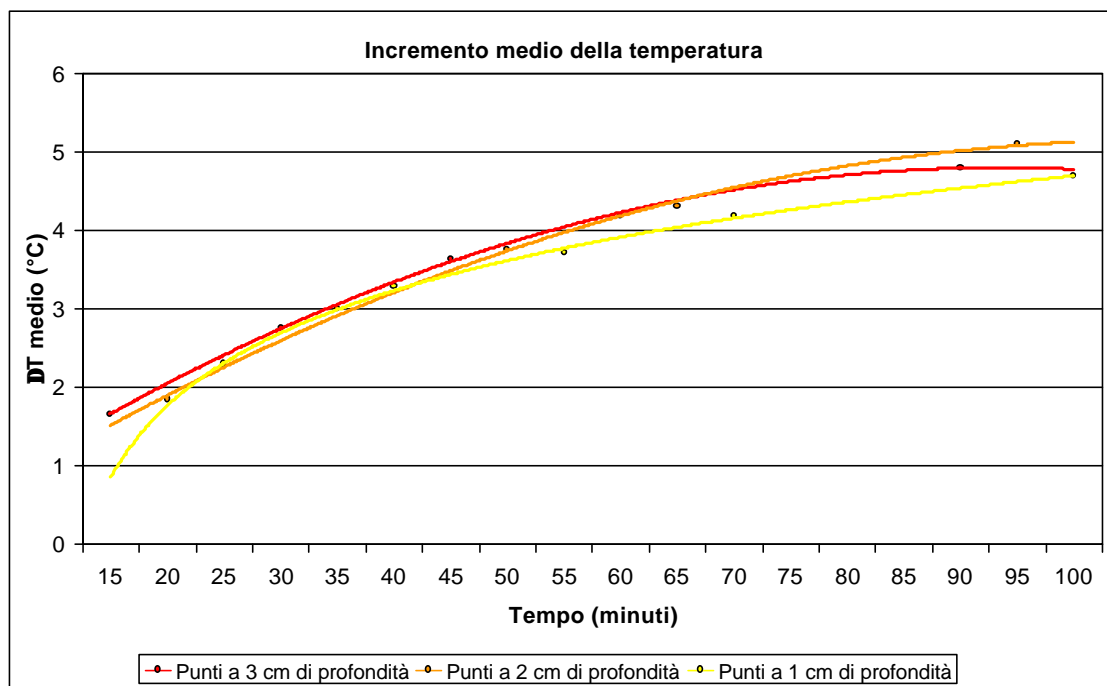


Figura 7 – Variazione di temperatura all'interno del campione (passo 15 cm).

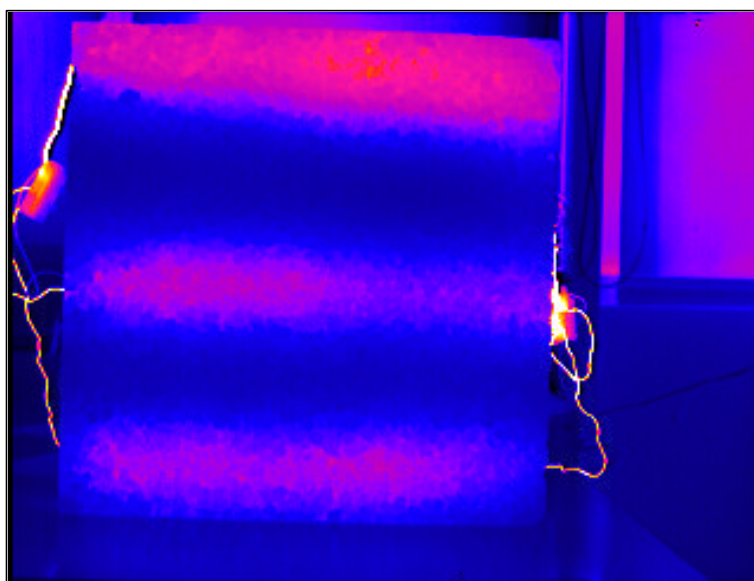


Figura 8 - Termografia IR della superficie del campione strumento.

3. CONCLUSIONI

L'indagine sperimentale, della quale la presente memoria ha mostrato alcuni risultati, ha permesso di verificare, in scala di laboratorio quanto di seguito riportato:

- gli elementi riscaldanti per effetto Joule impongono al manto stradale una temperatura superiore a quella originaria, con gradienti termici programmabili;
- gli elementi riscaldanti possono essere alimentati con una tensione estremamente bassa, avendo cura di selezionare il materiale resistivo più economico, durevole e meccanicamente resistente;

- la forma sinusoidale scelta per gli elementi resistivi studiati, ha la funzione di aumentare la superficie riscaldante all'interno del conglomerato e permette ai filamenti stessi di potersi adattare al movimento degli aggregati ed alle sollecitazioni dovute all'azione di stesa e di rullaggio;

- una temperatura più alta delle pavimentazioni stradali in inverno, permette di evitare la formazione di uno strato di ghiaccio durevole, particolarmente insidioso soprattutto in una pavimentazione drenante ed in particolar luogo lungo tratte stradali appenniniche o lungo viadotti; permette altresì di limitare altri problemi di durabilità dei conglomerati bituminosi porosi connessi all'infragilimento dei legami bitume-aggregato lapideo;

- la disposizione della rete di filamenti metallici all'interno di una pavimentazione stradale è certamente agevole e tecnologicamente simile alla posa di rinforzi strutturali metallici già presenti nella letteratura tecnica delle costruzioni stradali;

- le temperature presenti all'interfaccia filamento-bitume, sono certamente compatibili con la piena efficienza strutturale del legante;

- la struttura della soluzione proposta si predispone agevolmente ad essere dotata di un sistema automatico di attivazione in opera con modalità local/remote control.

Le prove di laboratorio hanno permesso di capire che il parametro fisico da controllare durante il riscaldamento del provino è la potenza dissipata per effetto Joule dai filamenti resistivi. Questa grandezza condiziona l'aumento della temperatura all'interno del conglomerato bituminoso, in quanto tiene in conto sia della resistività dei filamenti sia della corrente che li attraversa.

Nonostante i filamenti siano attraversati da corrente, nel caso del circuito progettato l'eventuale presenza di acqua non comporta alcun rischio di corto circuito dato che l'intero sistema è protetto a valle da un trasformatore di isolamento che elimina il rischio di folgorazioni.

4. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- [1] FHWA, "Manual of Practice of an Effective Anti-icing Program", *US Department of Transportation, Federal Highway Administration, USA, 1996.*
- [2] Giuliani F., "Winter Maintenance of Porous Asphalt Pavements", *atti del XIth PIARC International Winter Road Congress, Sapporo, 28-31 gennaio, Giappone 2002.*
- [3] Camomilla G., Goretti P., Terradura V. and B. Baruchello, "Manuale delle Operazioni Invernali", *3^a edizione, Società Autostrade, Italia, 1997.*
- [4] Collepari M., "Scienza e Tecnologia del Calcestruzzo". *Hoepli ed., Milano, Italia, 1991.*
- [5] MURST, Ministero dell'Università e della Ricerca Scientifica e Tecnologica, Programma di Ricerca Scientifica di Rilevante Interesse Nazionale 1998, "La Sicurezza Intrinseca delle Pavimentazioni Stradali", *Unità di Ricerca Università degli Studi di Parma, Relazione Finale, Italia, 2000.*
- [6] Montepara A., Giuliani F., "Effect of Low-Temperatures on Mechanical Characteristics of Bituminous Mixtures", *atti del 1st Southamerican Winter PROVIAL, World's End Winter Road Congress, Tierra del Fuego, 7-11 agosto, Argentina, 2000.*
- [7] Nakanishi H., Asano K. and K. Goto, "Study on Improvement in Durability of Porous Asphalt Concrete", *atti del 10th REAAA Conference, Road Development for 21th Century, Tokyo, 4-9 settembre, Giappone, 2000.*