

PROGETTO E COSTRUZIONE DI RILEVATI STRADALI IN POLISTIRENE ESPANSO SINTERIZZATO

Felice Giuliani e Antonio Montepara

Università degli Studi di Parma

Introduzione

La moderna concezione del progetto di infrastrutture viarie è fondata sull'analisi delle più adeguate tecnologie per garantire il miglior servizio all'utenza, il minor consumo di energie e di risorse del territorio, il contenimento dei tempi e dei costi generalizzati per la collettività.

Nella più efficace attuazione dei propositi della valutazione economica dei progetti, attraverso gli strumenti dell'analisi finanziaria o dell'analisi economica, il progettista stradale deve prevedere soluzioni che sfruttino le migliori conoscenze tecniche consolidate del momento e che risultino la naturale sintesi dei requisiti funzionali e prestazionali che l'opera deve possedere.

Ecco che situazioni geomorfologiche complesse, aree di limitata capacità portante, tempistiche di realizzazione o di ripristino incompatibili con i normali regimi di conduzione dei lavori, richiedono approcci non tradizionali nel progetto stradale, soprattutto per quello che concerne lo studio e la costruzione del corpo stradale.

L'uso del Polistirene Espanso Sinterizzato (EPS), nato come materiale alternativo ai materiali naturali da costruzione di rilevati stradali in zone con forti vincoli all'apertura di cave di prestito o con condizioni climatiche estreme, è attualmente un interessantissimo strumento per la fattibilità di progetti altrimenti destinati, per tempi e per costi di attuazione, ad essere rimandati o alienati. Il requisito di estrema leggerezza dell'EPS rende la costruzione di manufatti voluminosi come, ad esempio, i rilevati a servizio di spalle da ponte, esente da problemi di consolidazione dei terreni interessati dallo sviluppo stradale. La conformazione dei blocchi di polistirene risulta ideale, in particolare, per il celere ripristino di viabilità compromessa a seguito di movimenti franosi o eventi calamitosi, ed è una soluzione particolarmente interessante in aree esposte a rischio sismico o a persistenti azioni vibratorie.

Il progetto delle strutture in polistirene espanso si basa essenzialmente sul controllo dello stato tensionale all'interno dei diversi strati costituenti il corpo stradale, generalmente compreso nel campo del comportamento elastico-lineare del materiale, e nella valutazione dell'entità delle deformazioni viscosse alle quali, come tutti i materiali polimerici, l'EPS è potenzialmente soggetto nel corso del lungo periodo di vita utile atteso.

1. L'EPS come materiale da costruzione

1.1 Caratteristiche Chimiche

Il polistirene è una delle principali materie plastiche derivate dal processo industriale di raffinazione del petrolio ed in particolare delle catene idrocarburiche delle quali è composto.

Il materiale di base, che l'industria chimica fornisce ai produttori di EPS, si presenta in forma di perle di aspetto vetroso di granulometria generalmente compresa fra 0.3÷2.8 mm di diametro, a seconda degli impieghi a cui è destinato (Piana, 1997). Le perle possono essere trasformate in manufatti o semilavorati in forma di blocchi, lastre o altri prodotti a stampaggio continuo.

Durante lo stampaggio le perle pre-espanso vengono sottoposte all'azione del vapore saturo a temperature di 110-120°C, rigonfiandosi all'interno di uno stampo, formando un blocco coerente ed omogeneo. Il colore dell'EPS è bianco e per la sua stabilità chimica e biologica non costituisce alcun pericolo per l'igiene ambientale e per le falde acquifere, del resto è noto l'impiego dell'EPS nel campo degli imballaggi per l'industria alimentare e farmaceutica. Non ha odore né altre emanazioni, né dà alcun problema al contatto con la pelle. Dal punto di vista del comportamento biologico, l'EPS non costituisce nutrimento per alcun essere vivente, microrganismi compresi, quindi non marcisce o ammuffisce.

L'EPS nasce come materiale facilmente combustibile ed è, infatti, interamente riciclabile nel processo produttivo; tuttavia l'aggiunta di opportuni additivi conferisce al blocco di EPS la proprietà di autoestinguere il fuoco, caratteristica importante per gli impieghi del polistirene espanso nell'ambito delle costruzioni civili e stradali in particolare.

1.2 Caratteristiche Fisiche

Le caratteristiche fisiche che si possono conferire all'EPS in fase di produzione sono tali da consentire di progettare il prodotto finito con valori della massa volumica variabile, permettendo quindi costruzioni massive a densità, ovvero peso che si scarica sul terreno di fondazione,

decescente in funzione dell'altezza di posa. Le temperature massime sopportabili dall'EPS dipendono, come per tutti i materiali termoplastici, dalla durata e dall'intensità della sollecitazione (Dušcov, 1997), tuttavia nel campo delle temperature di impiego in campo stradale, non è possibile che si verifichi alcuna transizioni di fase.

I blocchi e gli altri manufatti di EPS sono oggetti leggeri, la cui massa volumica è compresa generalmente tra 20 e 40 Kg/m³. Essi presentano quindi una grande capacità di galleggiamento che non viene perduta nemmeno dopo prolungata immersione totale in acqua. Il polistirene, infatti, non assorbe l'acqua; piccoli quantitativi possono entrare solo negli interstizi esistenti tra le perle o tramite diffusione di vapore acqueo, comunque mai superiori al 5% del volume del blocco (Deleye, 1998).

1.3 Legame costitutivo e sollecitazioni ammissibili

L'EPS è un materiale che può essere considerato sostanzialmente omogeneo ed isotropo. L'EPS, sottoposto a compressione, mostra un legame costitutivo di tipo elasto-plastico-incrudente, con un comportamento elastico-lineare osservabile fino a circa il 2.5% di deformazione (Montepara & Giuliani, 2000). Nell'ipotesi di impiego del polistirene come materiale da costruzione per rilevati stradali, le esperienze internazionali impongono, in fase di esercizio, un rigido controllo dello stato tenso-deformativo, mirato essenzialmente alla limitazione dei fenomeni di creep.

Van Dorp (1988) e la Normativa Tecnica Norvegese (NRRL, 1992), per scongiurare l'effetto delle deformazioni viscosi nell'EPS, fissano lo sforzo di compressione massimo, permanente, non superiore al 30% della resistenza a compressione valutata in corrispondenza del 5% di deformazione. Il Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (1990) suggerisce l'applicazione di una tensione di esercizio non superiore al 40% della tensione di plasticizzazione, con un campo di deformazioni ammissibili intorno allo 0.2%.

2. Rilevati stradali in EPS

2.1 Posa in opera e tecnica costruttiva

Un rilevato stradale in polistirene espanso sinterizzato viene realizzato mediante la sovrapposizione di blocchi di EPS, confezionati secondo la geometria più adatta alle esigenze progettuali e/o alla facilità di movimentazione in area di cantiere.

Le opere eseguite in campo europeo sono state realizzate con blocchi prismatici di dimensioni 2.0 m x 1.0 m x 0.5 m oppure 3.0 m x 1.0 m x 0.5m, comunque con la dimensione minima non inferiore a 0.5 m (Refsdal, 1985). In Italia le esperienze più significative sono state eseguite solo a partire dal 2003 con il *Rilevato Sperimentale* realizzato presso il Passo del Bratello (Provincia di Parma) ove la viabilità provinciale, compromessa dagli effetti di una frana, è stata celermente e definitivamente ripristinata con la posa di un rilevato di 6.550 mc di EPS (Foto 1). Altre opere stradali di estremo interesse ingegneristico risultano i successivi *Lavori di adeguamento a tre corsie del quadrante Nord-Ovest autostrada del Grande Raccordo Anulare di Roma – ANAS* (14.000 mc di blocchi di EPS) e la *Variante di Savio alla S.S. n. 16 Adriatica – ANAS*, quest'ultima caratterizzata da rilevati di oltre 10 metri di altezza a tergo di spalle da ponte.



Foto 1. *Lavori di posa del primo rilevato sperimentale in EPS in Italia (Provincia di Parma).*

La disposizione reciproca dei panî, deve essere progettata in funzione della dimensione massima del blocco cercando opportunamente lo sfalsamento dei giunti tra gli stessi, con una orditura dello strato ortogonale a quella dello strato immediatamente inferiore (Figura 1).

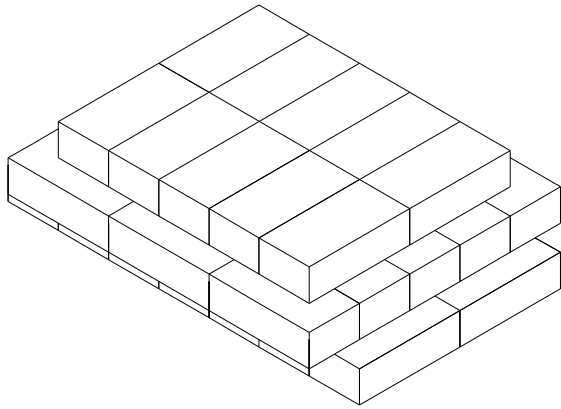


Figura 1. *Schema di posa dei blocchi di EPS.*

La linea di giunzione fra i pani non deve essere più larga di 10 mm, così come le differenze di quota tra blocchi adiacenti dello stesso strato non devono superare i 5 mm. A tal fine è necessario posare un nuovo strato di blocchi solo quando è stata completata la stesa dello strato precedente. Per evitare scivolamenti nel caso di strati multipli, i blocchi devono essere collegati tra loro con l'applicazione di tasselli dentati in materiale metallico, che permettono una trasmissione delle tensioni fra i blocchi e ne favoriscono il fissaggio durante le operazioni di cantiere soprattutto in presenza di forte vento.

Il trasporto e la mobilitazione dell'EPS è piuttosto semplice, data la geometria regolare dei blocchi ed il loro peso esiguo, tale da consentire una posa in opera estremamente agevole e rapida (Figura 1). Lo stoccaggio in area di cantiere non richiede protezioni particolari, eccettuata una protezione dai raggi ultravioletti per periodi lunghi di esposizione prima della posa in opera. Questi, in ogni caso, producono solo una opacizzazione della superficie esterna dei pani, senza però danneggiare il materiale e dequalificare le caratteristiche prestazionali.

Infine, data la densità estremamente bassa del materiale, occorre scongiurare possibili galleggiamenti dei blocchi in tutte quelle situazioni ambientali ed operative dove è possibile interferire con la falda freatica.

Pertanto occorre valutare l'eventuale spinta idrostatica, predisponendo un sistema di drenaggio dell'area di cantiere e di esercizio dell'opera e pensando ad un progetto che limiti la profondità del piano di posa e, quindi, dello sbancamento.

2.2 La sovrastruttura stradale

Un rilevato in EPS richiede generalmente la realizzazione di una sovrastruttura stradale di tipo rigido con lastra in calcestruzzo quale elemento di ripartizione dei carichi veicolari e come fondazione delle eventuali barriere di sicurezza o di altri elementi verticali della piattaforma stradale. Nella realizzazione della lastra di calcestruzzo, il sottofondo in EPS funge da cassero e da barriera di vapore per la maturazione del getto. Come per qualsiasi pavimentazione realizzata con leganti idraulici, particolare cura va alla posa in opera ed alla prevenzione degli effetti del ritiro igrometrico con un accurato mix design dell'impasto, una corretta realizzazione dei giunti ed il rispetto delle condizioni ottimali di stagionatura.

In funzione delle diverse condizioni di progetto la sovrastruttura può essere realizzata anche come pavimentazione semirigida e con la normale finitura in conglomerato bituminoso.

2.3 Aspetti tecnico-economici e condizioni favorevoli all'utilizzo

Il trasporto e la movimentazione delle terre sono tra le voci economicamente più onerose nella realizzazione di una strada; a ciò va aggiunto che in certe zone è praticamente impossibile reperire materiale idoneo per rilevati stradali, anche nel rispetto delle limitazioni alla estrazione ai fini di una maggiore salvaguardia ambientale.

Pur essendo l'EPS sostanzialmente più caro nei confronti dei materiali da costruzione tradizionali usati nel corpo stradale, è necessaria una valutazione complessiva degli oneri connessi ai processi costruttivi prendendo in considerazione anche, per esempio, i tempi di realizzazione e la facilità di esecuzione dell'opera: un elemento in EPS di dimensioni normali pesa indicativamente 30 Kg e può essere movimentato in cantiere da un'unica persona senza l'ausilio di macchine.

Inoltre, la riduzione dello spazio d'ingombro del rilevato, dovuto alla possibilità di realizzare scarpate di pendenza maggiore, suggerisce l'impiego di questo materiale soprattutto negli ampliamenti delle carreggiate, non sottovalutando le potenzialità connesse al completo riutilizzo dell'EPS, in quanto materiale interamente riciclabile.

3. Strumenti di analisi per la previsione dei cedimenti.

La conoscenza delle proprietà meccaniche del polistirene espanso sono essenziali nella impostazione del progetto in quanto esse condizionano la stabilità interna e del complesso dell'opera ed il successivo progetto della sovrastruttura. Le proprietà meccaniche scaturiscono,

come detto, prima di tutto dalla conoscenza del legame costitutivo e dalla risposta deformativa tenuto conto dei diversi periodi di vita utile e delle diverse condizioni di applicazione del carico. I metodi di analisi e di progetto dell'EPS, quando usato come materiale di riempimento, si basano sullo studio della deformazione dell'intera massa e, pertanto, è in questa scala che devono essere valutate le prestazioni della struttura soggetta a stato di compressione. Generalmente, nel corpo stradale, il limite del campo elastico σ_e è definito da quelle tensioni di compressione che non generano deformazioni di compressione superiori all'1%.

3.1 Previsione dei cedimenti

Al fine di valutare le prestazioni in opera dei rilevati in EPS è essenziale determinare il cedimento del complesso della struttura e di disporre di un adeguato metodo di analisi. È bene riferirsi in prima istanza all'approccio semplificato proposto da Horvath (Horvath J. S., 1998), sulla base di studi condotti su campioni in piccolo scala di EPS.

L'equazione costitutiva del modello di deformazione viscosa è:

$$\varepsilon = \varepsilon_0 + \varepsilon_c \quad (1)$$

dove:

ε = deformazione totale al tempo t ;

ε_0 = componente istantanea di deformazione all'atto dell'applicazione del carico.

ε_c = componente di deformazione dipendente dal tempo e misurata al tempo t (creep).

Sebbene teoricamente la componente istantanea di deformazione ε_0 includa comunque sia una aliquota elastica (deformazione reversibile) che una plastica (deformazione irreversibile), essa risulta la deformazione prevalente alla quale riferirsi per le condizioni ordinarie di esercizio del rilevato in EPS, sempre che le tensioni nella struttura siano formalmente comprese nel campo della elasticità lineare del materiale (Montepara A. & Giuliani F., 2001). Tuttavia è indispensabile prevedere l'entità della componente plastica ε_c , da identificare e temere, per opere non temporanee.

La componente ε_c , che dipende dal tempo, è calcolata attraverso l'equazione di Findley, derivata dalla reologia dei materiali polimerici:

$$\varepsilon_c = \varepsilon'_{oF} \cdot \sinh\left(\frac{\sigma}{\sigma_{eF}}\right) + m'_F \cdot \sinh\left(\frac{\sigma}{\sigma_{mF}}\right) \cdot \left(\frac{t}{t_o}\right)^{n_F} \quad (2)$$

dove:

n_F = parametro di Findley adimensionale;

t = tempo di applicazione del carico (ore);

t_o = 1 ora (funzionale alla normalizzazione del tempo);

m'_F = parametro adimensionale;

ε'_{oF} = parametro adimensionale di Findley;

σ_{eF} , σ_{mF} = parametri di Findley (kPa);

σ = carico applicato (kPa).

I cinque parametri del modello di Findley derivano da determinazioni sperimentali e sono funzione della densità del materiale, della temperatura, del tenore di umidità e sono indipendenti dallo stato di tensione/deformazione e dal tempo.

3.2 Studio sperimentale - Creep statico.

In esercizio, il peso proprio della pavimentazione gravante sui blocchi e quota parte di sollecitazione derivante dal traffico veicolare determinano all'interno dell'EPS uno stato di sollecitazione permanente costante nel tempo (σ_s). Le deformazioni corrispondenti tendono ad evolvere nel tempo ovvero a manifestare tipici fenomeni di creep.

Teoricamente il materiale continua ad esibire questo comportamento senza limiti ma le temperature alle quali è lecito ipotizzare l'esposizione della strada sono lontane dalla temperatura di transizione vetrosa del materiale e tali fenomeni tendono ad avere una durata finita.

Prove di creep statico condotte in laboratorio presso l'Università di Parma, applicando una tensione di compressione assiale costante mediante l'apparecchiatura Material Testing System 810, su campioni cilindrici di 100 mm di diametro e 100 mm di altezza di differenti densità (15, 25 e 35 kg/m³), hanno consentito la quantificazione dei fenomeni di accumulo della deformazione viscosa del polistirene soggetto a differenti carichi (Foto 2). Le dimensioni dei campioni sono superiori a quelle previste nelle attuali normative di settore in Italia, in quanto pensate per applicazioni diverse da quelle stradali.

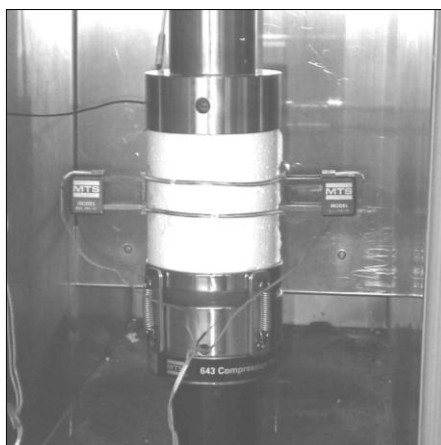


Foto 2. Prove di creep statico di campioni di EPS.

In corrispondenza di ciascuna densità si sono determinati i relativi campi di elasticità lineare per quantificare la tensione di servizio (tipicamente pari alla metà della tensione che determina una deformazione assiale del 2%) quantificata in 20 kPa per EPS 15, 40 kPa per EPS 25, 60 kPa per EPS 35. Sono state quindi condotte prove di creep per i diversi campioni alla tensione costante pari al 75% del limite di elasticità lineare (30 kPa per EPS 15, 60 kPa per EPS 25, 90 kPa per EPS 35). In Figura 2 si riportano i risultati di prove di creep su campioni di EPS in termini di deformazione assiale nel tempo espresso in ore.

I risultati delle prove di laboratorio hanno permesso di calibrare il modello di Findley e ricavare i parametri utili alla predizione dei cedimenti viscosi del polistirene espanso di produzioni italiane. Le costanti di calibrazione sono state determinate in accordo con la metodologia proposta da Horvath (Horvath J. S., 1998).

Rappresentando le curve sperimentali in un piano semilogartimico, si osserva come le regressioni lineari, a parità di densità del materiale, hanno sostanzialmente la stessa pendenza. Ciò conferma l'ipotesi di base di Findley ovvero che la deformazione di creep dell'EPS sia essenzialmente funzione della sola densità del materiale.

In particolare per l' EPS 15 il valore del coefficiente angolare n dell'equazione è pari a 0,66. Questo si riduce a 0,47 e 0,24 per EPS 25 ed EPS 35 rispettivamente.

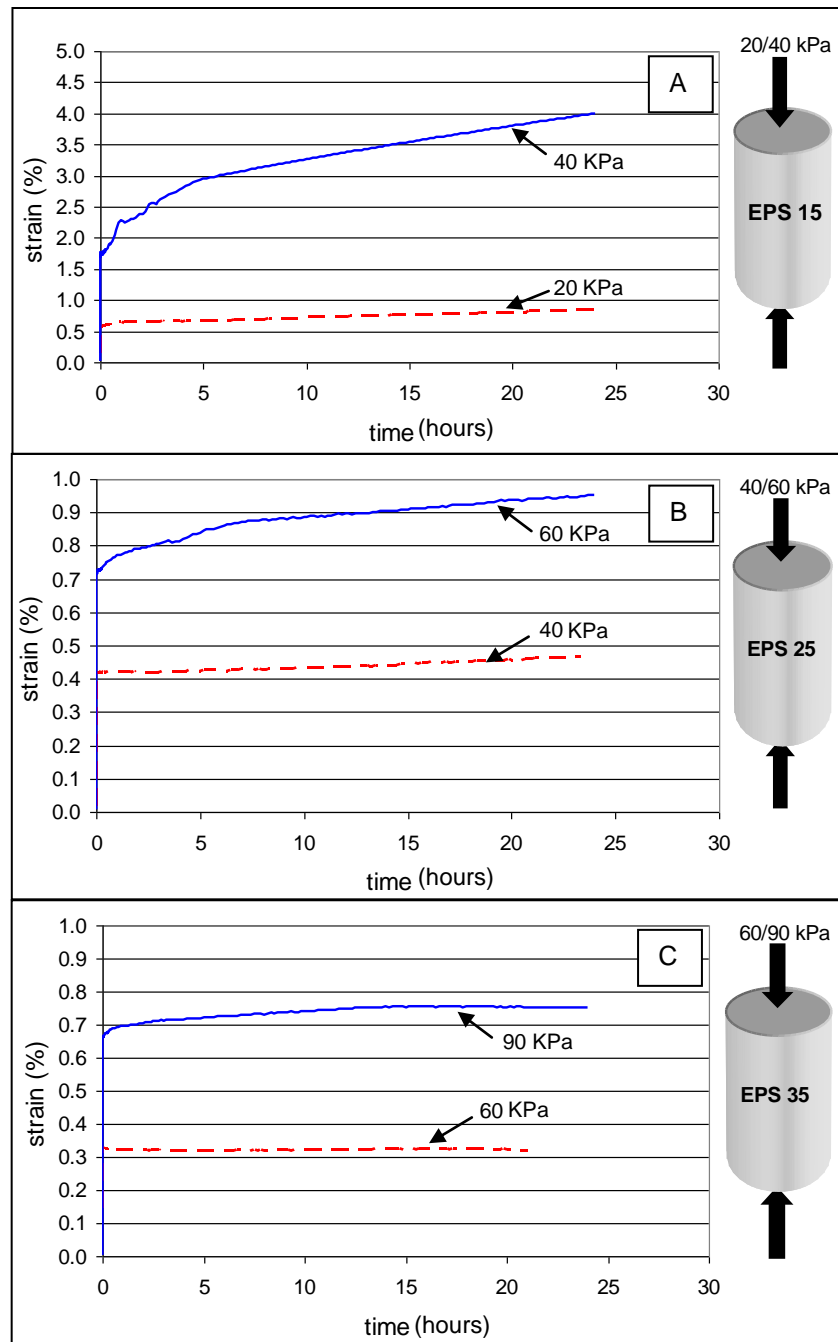


Figura 2. Curve di creep di EPS 15 (A), EPS 25 (B) e EPS 35 (C).

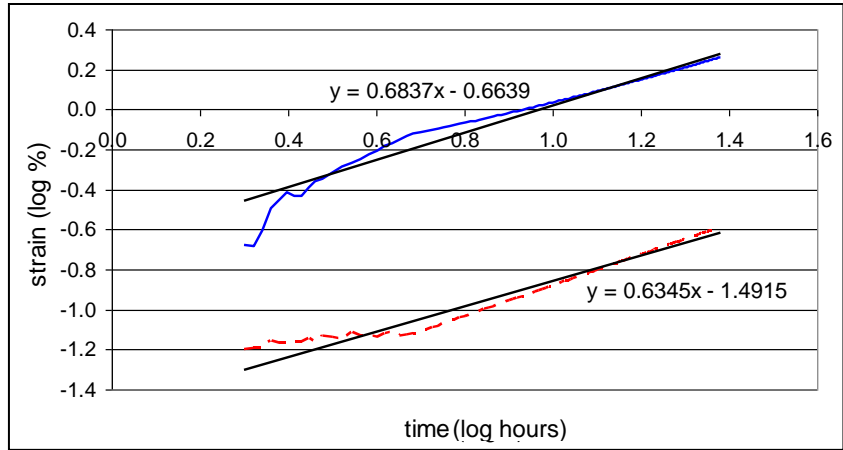


Figura 3. Deformazione di creep in funzione del tempo per carico di 20 e 40 kPa (EPS 15).

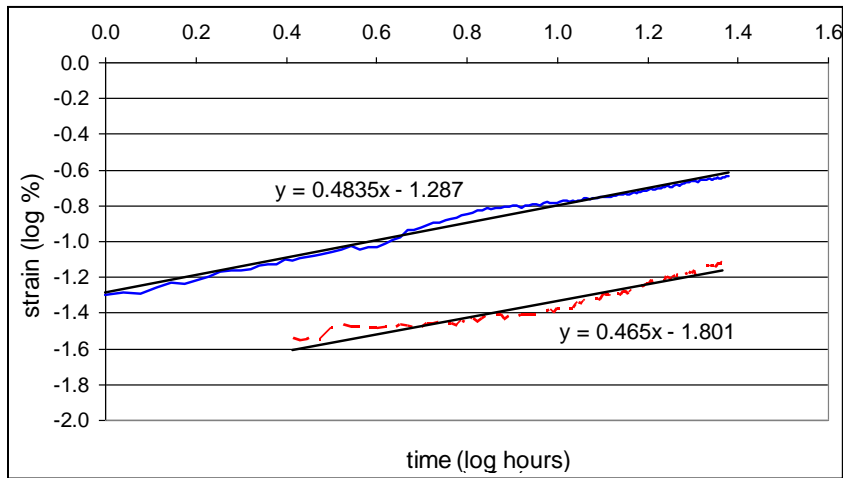


Figura 4. Deformazione di creep in funzione del tempo per carico di 40 e 60 kPa (EPS 25).

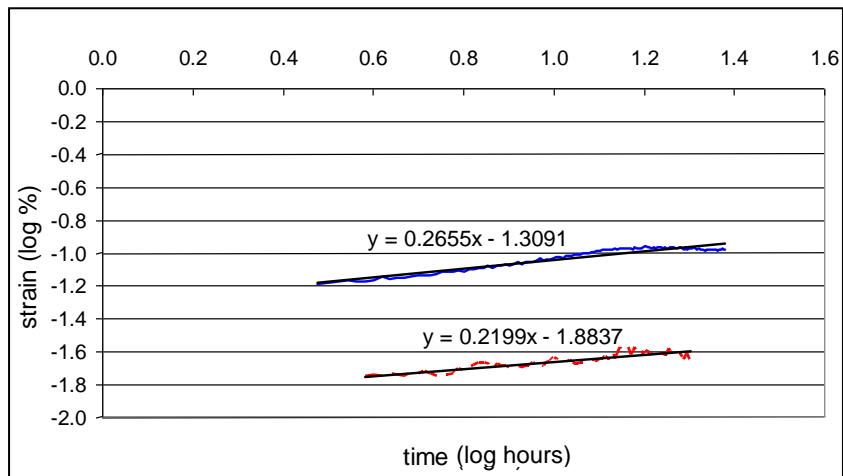


Figura 5. Deformazione di creep in funzione del tempo per carico di 60 e 90 kPa (EPS 35).

La calibrazione delle equazioni di Findley e la determinazione dei relativi parametri è stata ottenuta attraverso la risoluzione del sistema di equazioni non lineari basate sulla funzione seno iperbolico, attraverso il software Mathcad®.

Nel seguito sono riportati i valori dei parametri da applicare nelle equazioni di Findley (Tabella 1) considerando le tre differenti densità di EPS sottoposti a prova e le espressioni finali.

$$\varepsilon_{(EPS15)} = 0,0016 \cdot \sinh\left(\frac{\sigma}{16,23}\right) + 0,0037 \cdot \sinh\left(\frac{\sigma}{66,84}\right) \cdot t^{0,66} \quad (3)$$

$$\varepsilon_{(EPS25)} = 0,0031 \cdot \sinh\left(\frac{\sigma}{38,10}\right) + 0,0004 \cdot \sinh\left(\frac{\sigma}{60,06}\right) \cdot t^{0,47} \quad (4)$$

$$\varepsilon_{(EPS35)} = 0,0015 \cdot \sinh\left(\frac{\sigma}{41,28}\right) + 0,0001 \cdot \sinh\left(\frac{\sigma}{40,82}\right) \cdot t^{0,24} \quad (5)$$

Tabella 1. Valori dei parametri dell'equazione di Findley ottenuti da prove di creep statico.

<i>Parametri</i>	<i>EPS 15</i>	<i>EPS 25</i>	<i>EPS 35</i>
<i>n</i>	0,66	0,47	0,24
<i>m</i>'_F	0,0016	0,0004	0,0001
<i>ε</i>'_o'_F	0,0037	0,0031	0,0015
<i>σ</i>'_{eF}	16,23 kPa	38,10 kPa	41,28 kPa
<i>σ</i>'_{mF}	66,84 kPa	60,06 kPa	40,82 kPa

3.3 Studio sperimentale - Creep dinamico.

Sono state eseguite prove su campioni sottoposti a carichi dinamici, emulative delle condizioni di strati di EPS più direttamente sottoposti ad azioni cicliche, ovvero nel caso di blocchi sommitali che possano ancora risentire dell'azione del traffico veicolare.

Le prove di creep dinamico sono state allestite applicando un carico sinusoidale alla frequenza di 1 Hz e di valore pari a 20 kPa, 40 kPa e 60 kPa per densità di 15 kg/m³, 25 kg/m³ e 35 kg/m³ rispettivamente, pari all'equivalente carico utilizzato nelle prove statiche per agevolare i confronti fra i risultati.

Le letture dei cedimento solo state eseguite in continuo e rappresentate nei grafici delle Figura 6-8 ai tempi di 180, 360, 540 e 720 secondi, espresse in termini di percentuale di deformazione assiale del campione cilindrico di polistirene espanso.

Le deformazioni risultano costanti nel tempo e di valore inferiore rispetto al carico statico di pari intensità. In particolare, nel caso dell'EPS 35, le deformazioni risultano molto contenute sotto azioni dinamiche.

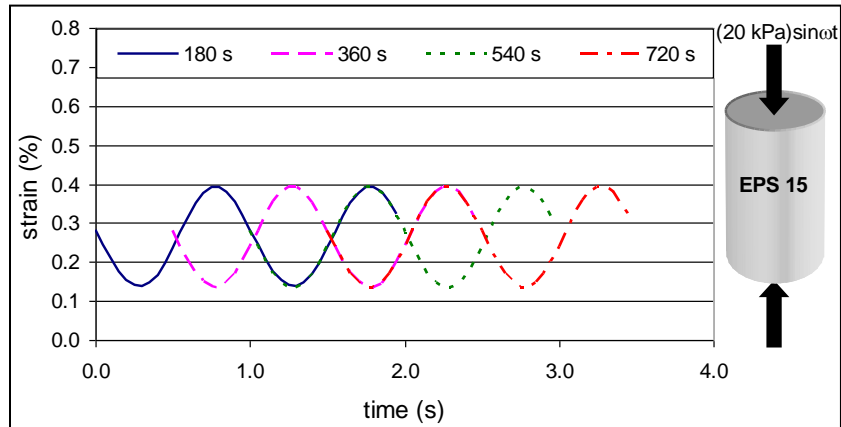


Figura 6. Andamento delle deformazioni assiali nel tempo (EPS 15 - 20 kPa - 1 Hz).

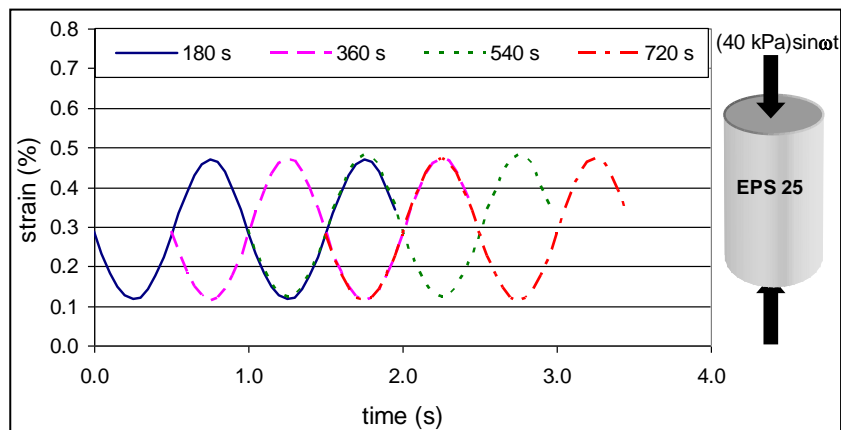


Figura 7. Andamento delle deformazioni assiali nel tempo (EPS 25 - 40 kPa - 1 Hz).

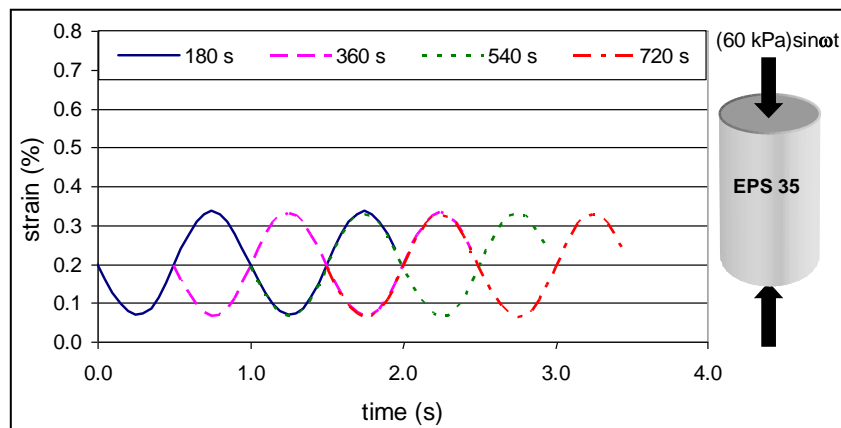


Figura 8. Andamento delle deformazioni assiali nel tempo (EPS 35 - 60 kPa - 1 Hz).

In figura 9 vengono rappresentati gli involucri delle curve di deformazione delle prove di creep dinamico per le tre differenti densità di EPS sottoposto a prova insieme all'andamento della deformazione per creep statico al variare del tempo. Da sottolineare che l'EPS è un materiale che sottoposto a carico ciclico immagazzina piccole deformazioni che non evolvono apprezzabilmente nel tempo.

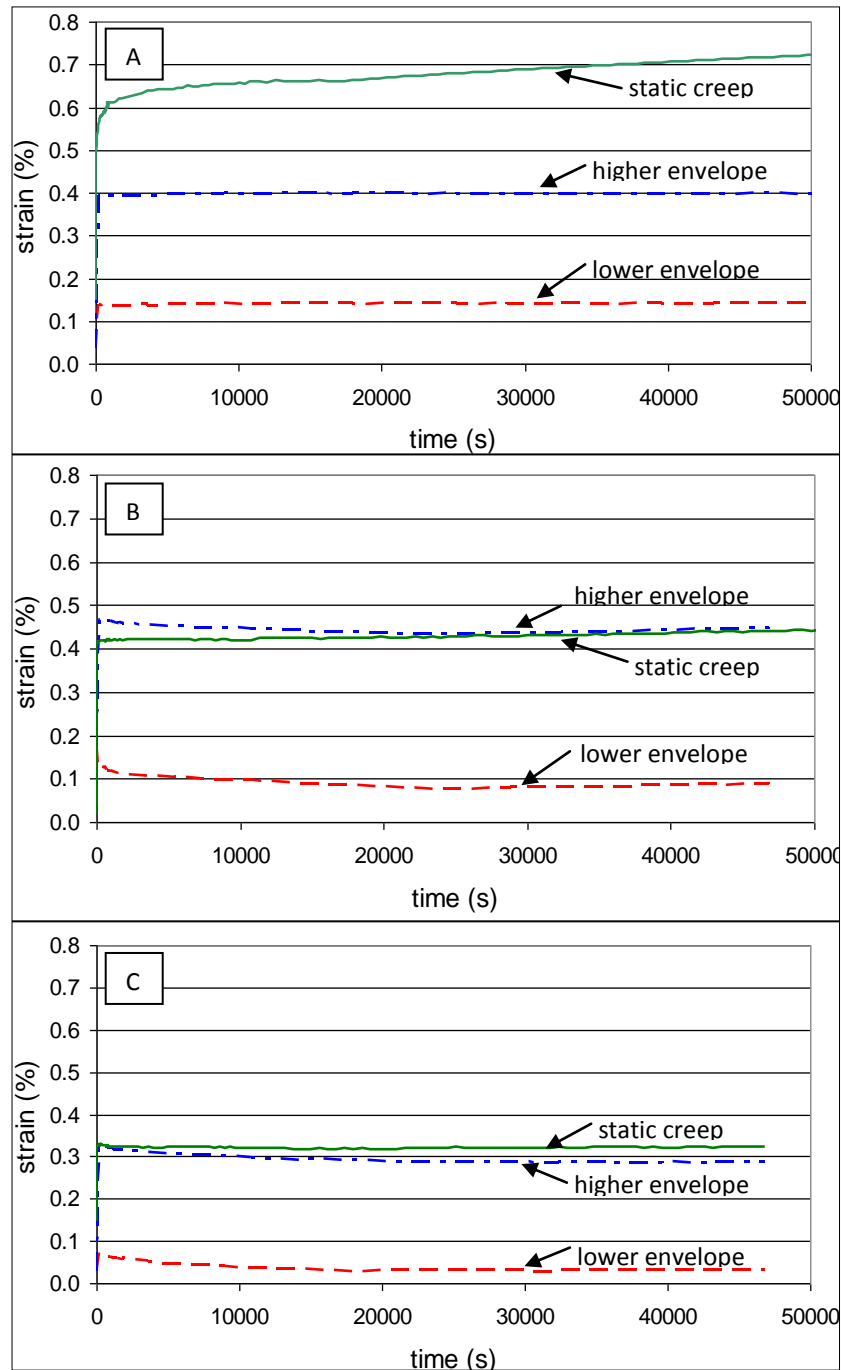


Figura 9. Deformazioni in EPS 15 (A), EPS 25 (B) e EPS 35 (C).

4. Conclusioni

La realizzazione di rilevati stradali in polistirene espanso sinterizzato costituisce uno strumento estremamente efficace per la soluzione di problematiche infrastrutturali dove la leggerezza risulta un requisito essenziale. La facilità di posa e la versatilità del polistirene permettono la costruzione di solidi di geometria ardita, adatti a far fronte alle sollecitazioni attese all'interno del solido stradale in condizione di posa su suoli difficili, scoscesi o in manufatti potenzialmente soggetti ad azioni dinamiche non trascurabili. La sperimentazione di laboratorio condotta dall'Università degli Studi di Parma ha permesso rispondere a molte domande sulle caratteristiche prestazionali dell'EPS per rilevati stradali e di calibrare i modelli di analisi della resistenza dei materiali, caratterizzati da diversi valori di densità, per la stima delle deformazioni viscosoelastiche di strutture sottoposte a carichi statici e dinamici, ottenendo un utile strumento di calcolo per il progettista stradale.

Riferimenti bibliografici

Horvath J. S., 1998. *Mathematical modeling of the stress-strain-time behavior of geosynthetic using the Findley equation: general theory and application to EPS-block Geofam*. Manhattan College Research Report No. CE/GE-98-9, Civil Engineering Department, New York, U.S.A.

Horvath J. S., 2001. *Cellular Geosynthetics 2001: Geofam Lightweight Fills and Beyond* Research Report No. CGT-2001-5, Manhattan College · School of Engineering · Center for Geotechnology. Bronx, New York, U.S.A.

Imad A. , Ouacca A., Dang Van K., Mesmacque G., 2001. *Analysis of the viscoelastoplastic behavior of expanded polystyrene under compressive loading: experiments and modeling*. Strength of Materials, vol. 33, No. 2.

Montepara A., Giuliani F., 2001. *Rilevati alleggeriti in polistirene espanso sinterizzato. Requisiti meccanici e tecniche applicative dell'EPS nelle costruzioni stradali su terreni a bassa portanza*. Quarry & Construction, XXXIX n. 11, Ed. PEI, Novembre 2001, Italia.

Montepara A., Giuliani F., 2001. *Rilevati alleggeriti in polistirene espanso sinterizzato per costruzioni stradali su suoli difficili*. XI Convegno Nazionale SIV “Progettazione ed adeguamento funzionale delle infrastrutture viarie”, Verona 28-30 Novembre 2001, Italia.

Montepara A., Giuliani F., Rastelli S., 2005. *Use of expanded polystyrene in road embankments and subgrade construction: analysis of behaviour under static and dynamic loads*. 4th Asia Pacific Conference to Transportation and Environment, China Academy of Transportation Sciences, Beijing, China, 8-10 November 2005.

Piana M., 1997. *Isolare le fondazioni con l'EPS*. BE-MA Editrice, Milano, Italia.

Stark T.D., Arellano D., Horvath J.S., Leshchinsky D., 2004. *Guideline and Recommended Standard for Geofam Applications in Highway Embankments*. NCHRP Report 529, Transportation Research Board, USA.

Stark T.D., Arellano D., Horvath J.S., Leshchinsky D., 2004. *Geofam Applications in the Design and Construction of Highway Embankments*. NCHRP webdocument 65 Project 24-11, USA.