

# LES MATÉRIAUX LEGERS DANS LES CONSTRUCTIONS ROUTIERES – LA SITUATION EN ITALIE

G. DONDI, A. SIMONE & K. BIASUZZI

Département DISTART, Section Routes, Université de BOLOGNE, Italie  
giulio.dondi@mail.ing.unibo.it

## RÉSUMÉ

L'emploi des matériaux légers peut permettre de contourner complètement ou partiellement l'œuvre de stabilisation du sol de fondation; en effet, la réduction considérable du poids du remblai permet l'accomplissement de plusieurs interventions réalisées en employant la technique de la «compensation de charge». Cette technique permet de construire un remblai sans augmenter (ou bien n'augmentant que très faiblement) les charges exercées sur le sol et, donc, de garder l'équilibre des tensions préalable. Les avantages principaux de cette technique sont les suivants:

- la mise en œuvre et la consolidation achevées, le remblai léger réduit considérablement les tassements absolus et différentiels;
- l'utilisation des matériaux légers augmente largement le coefficient de sécurité, dont la valeur fait référence à l'état limite ultime du remblai;
- pour des raisons logistiques et technologiques, ce procédé est souvent la seule solution réalisable; en effet, dans la plupart des cas, aucune précharge ne se rend nécessaire;
- dans plusieurs cas, l'emploi de matériaux légers alternatifs permet de contourner des techniques de réalisation beaucoup plus longues et coûteuses.

Dans cette dissertation on analyse les expériences les plus récentes accomplies en Italie quant à l'emploi de plusieurs types de matériau de remplissage: de l'argile expansée et du Polystyrène Expansé Sintérisé – EPS pour la construction de remblais allégés. Ces technologies sont analysées et comparées aux niveaux technique et économique, et en cas d'emploi de la méthode de construction traditionnelle.

## MOTS CLEFS

CORPS ROUTIER / ALLEGEMENT / MATERIAUX ALTERNATIFS.

## 1. INTRODUCTION

Les techniques d'allégement du corps routier développées au cours de ces dernières années prévoient l'emploi de matériaux fabriqués spécialement (Polystyrène expansé EPS, argile expansée, tubes en acier, béton armé allégé), matériaux en provenance de déchets industriels (loup et scories de hauts fourneaux) et matériaux recyclés (fragments de pneumatiques, fibres de bois, cendres volatiles, ciment fragmenté). Le Tableau 1 illustre synthétiquement les principales caractéristiques et les inconvénients liés aux matériaux plus employés parmi ceux cités.

En Italie, les techniques ayant obtenu le plus de succès, en raison de leur disponibilité et de la qualité des matériaux offerts, utilisent essentiellement l'argile expansée et le Polystyrène Expansé Sintérisé (EPS).

Tableau 1 – Principales technologies d'allégement du corps routier.

Matériau	masse volumique (kg/m <sup>3</sup> )	Résistance à la compression (kPa)	Module de Young (kPa)	Coût	Inconvénients liés à leur emploi
EPS	de 10 à 40	de 100 à 300 à 10% de déformation	6.5×10 <sup>3</sup>	70 €/m <sup>3</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Flottement</li> <li>• Dissolution en contact avec les dérivés du pétrole (bitume, essence, etc.)</li> <li>• Inflammabilité</li> <li>• Differential Icing</li> </ul>
Argile expansée	< 450 en tas ~ 600 compacté	1.2×10 <sup>3</sup>	4×10 <sup>4</sup>	de 25 à 30 €/m <sup>3</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Flottement</li> <li>• Sensibilité au gel</li> <li>• Absorption d'eau</li> <li>• Differential Icing</li> </ul>
Fibres de bois	de 720 à 860	de 10 à 12×10 <sup>6</sup>	de 10 à 12×10 <sup>6</sup>	de 0.7 à 1 €/m <sup>3</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Combustions spontanées</li> <li>• Décomposition</li> </ul>
Cendres volatiles	de 1200 à 1700	1.2×10 <sup>3</sup>	de 10 à 11×10 <sup>6</sup>	6.5 €/kN	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Erosion éolienne</li> </ul>
Fragments de Pneumatiques	de 320 à 530 dissout de 720 à 900 compacté	Résistance à la coupe ~ 42 kPa avec $\sigma_v = 80$ kPa	de 350 à 820	2.0 €/kN	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Emanations éventuelles de substances nocives</li> </ul>

## 2. LES TECHNIQUES D'ALLEGEMENT EN ITALIE

Les paragraphes suivants illustrent les interventions principales d'allégement du corps routier effectuées en Italie au cours de ces 15 dernières années.

### 2.1. Remblai en argile expansée, Autoroute A12, tronçon Rome – Civitavecchia

En 1989, le long du tronçon de l'Autoroute A12 Rome – Civitavecchia, près de l'Aéroport Leonardo Da Vinci, le remblai traditionnel de la chaussée Sud a été remplacé par un remblai expérimental en argile expansée sur une longueur de 75 m. L'objectif était d'évaluer les conditions d'exercice de la solution structurelle en vue du remplacement complet du remblai traditionnel sur une longueur total de 2.500 m environ. En effet, le long des 20 années d'existence du remblai traditionnel, d'importants affaissements s'étaient vérifiés qui avaient provoqué de significatives modifications des formes de projet de tout le corps routier. Pendant cette période, les mesures prises pour rétablir les nivelettes de projet et la régularité de la chaussée, ne dépassèrent pas la recharge du pavement existant. En 1986, une étude géotechnique révéla que le terrain de pose était composé de couches d'argiles limoneuses légèrement consolidées alternées à des niveaux de tourbe et de limons organiques intercalés par des poches gazeuses diffuses. Une évaluation des affaissements fit ressortir que le sol se serait abaissé de 1.40 m en plus les 10 années suivantes, étant donné qu'avec la surcharge exercée par le remblai traditionnel, les tassements de consolidation primaire étaient encore en cours. L'analyse des tassements progressifs et du pourcentage de consolidation résiduelle suggéra donc d'alléger la charge sur le terrain jusqu'à atteindre une tension de l'ordre de 30 kPa sur le plan de pose, de sorte à stopper la consolidation primaire et une partie des tassements secondaires. On estima que la solution plus appropriée, parmi celles proposées, consistait dans la réalisation d'un remblai en argile expansée.

Le compactage et l'humidité optimaux pour la fabrication et les paramètres de résistance furent étudiés en laboratoire afin d'identifier la méthode de pose la plus adaptée. De ces études, il ressortit que les valeurs maximales de compactage pouvaient s'obtenir par vibrations selon la méthode ASTM D-2049, les valeurs optimums de poids en volume, pour différentes distributions granulométriques, étaient comprises entre 7 et 8 kN/m<sup>3</sup> avec un taux d'humidité optimum compris entre 50 et 60% et l'indice CBR qui oscillait entre 30 et 40. On a ensuite vérifié qu'une absorption avec une granulométrie inférieure à 25 mm garantissait une bonne prédisposition du matériau au compactage.

La construction du remblai a été précédée par une bonification du plan de pose (de 30 à 40 cm) et par l'application d'un géotextile non-tissé (*GTXnow*) ayant fonction anticapillaire et anticontaminante. Sur ce plan, on a ensuite posé les 60 premiers centimètres d'argile expansée, puis on a retourné le *GTXnow* pour protéger les talus et on a posé une autre feuille de *GTXnow* et une couche de mélange granulaire concassé (20 cm), ayant la fonction de répartir les charges, au-dessus duquel on a procédé au compactage avec des rouleaux légers vibrants. Enfin on a étendu une couche d'argile expansée de 1.2 m, elle aussi protégée par un *GTXnow*, recouverte par une couche de mélange granulaire opportunément compacté.

Jusqu'à aujourd'hui, les instruments de mesure prévus pour détecter les affaissements et les caractéristiques mécaniques ont satisfait pleinement les attentes (Moretti, 1990).

## 2.2. Remblai en argile expansée, Autoroute A12, tronçon Rome – Fiumicino

En raison de l'aggravation progressive du niveau de service de l'A12 pendant les années 90, la nécessité d'élargir la chaussée s'est manifestée dans le tronçon de 12 km, qui relie Rome à l'aéroport "Leonardo Da Vinci". L'intervention prévoyait un élargissement symétrique avec l'élargissement de la voie d'urgence, la réalisation d'une troisième voie et l'introduction d'un terre-plein central de la barrière New Jersey, en faisant passer la largeur actuelle de 22.60 m à 33 m. Les études géotechniques ont révélé, dans la zone intéressée, des sols argileux intercalés par des couches de tourbe ayant une résistance limitée à la coupe. Etant donné qu'il fallait élargir le remblai existant, pour assurer la compatibilité des tassements de la nouvelle structure avec l'ancienne, qui, après de longues années, a atteint un équilibre, il a été décidé d'employer l'argile expansée aussi bien pour le nouveau remblai que pour la fondation de la route. Le nouveau remblai a été réalisé à partir de la technique de la compensation partielle de la charge, en bonifiant le terrain naturel d'appui avec 1,05 m d'argile expansée, posée sur un géotextile et recouverte par une couche protectrice de 15 cm de mélange granulaire sur lequel le compactage a été effectué avec des rouleaux statiques et dynamiques. Le remblai hors sol a été construit avec des couches de 45 cm d'argile expansée intercalées par 15 cm de mélange granulaire. Pour contenir le gabarit du nouveau remblai, étant donné les problèmes d'occupation des sols alentours, et pour donner à l'argile expansée le confinement nécessaire pendant la phase de compactage, le projet a prévu la construction d'un parement incliné à 60° réalisé avec des panneaux en grillage métallique fixés au remblai existant, à travers la technique des terres renforcées.

Afin de tester et d'optimiser les modalités d'exécution et les procédures de contrôle, un champ d'essai a été prévu. Les résultats de l'essai ont révélé que dans le test de charge avec plaque (CNR BU n. 9/67), pour obtenir des valeurs de module de déformation  $M_d$  conformes à celles indiquées dans le Cahier des Charges, il fallait agir sur trois facteurs : les modalités de compactage, en limitant celles dynamiques à deux passages de rouleau de 160 kN et celles statiques à six, la composition du mélange granulaire, en prévoyant l'emploi de matériau pouzzolanique, et le géotextile, qui doit être appliqué en correspondance de la tranchée de bonification seulement. Les essais de charge avec plaque effectués à partir de ces critères ont révélé des valeurs de  $M_d$  (mesuré au premier

cycle de charge dans l'intervalle de 0,5 à 1,5 MPa) compris entre 30 et 40 MPa pour la première couche et entre 40 et 50 MPa pour la deuxième (Caraffa, 1999).

### 2.3. Remblai en argile expansée, Autoroute Messine – Palerme

Au cours de l'été 2001, le long d'un tronçon en construction de l'Autoroute Messine – Palerme, une masse potentiellement instable a été repérée intéressant une zone de 150 m environ de front et une profondeur de 20 à 25 m (fig. 1). Pour stabiliser et consolider l'éboulement, une série d'intervention a été prévue, parmi lesquelles la modification de la section du corps routier et l'introduction d'argile expansée dans le remblai, de façon à réduire les charges pesant sur la masse instable. Pour redonner son gabarit à la section du remblai, il a été décidé de poser une succession de trois parements verticaux en terre renforcée, afin de diminuer l'ensemble des volumes en jeu sans toucher à la position plano-altimétrique des tracés routiers intéressés. Pour remplir le sommet du parement, il a été prévu d'utiliser de l'argile expansée intercalée par des couches de 15 cm environ de mélange granulaire naturel en correspondance du coffrage d'ancrage. Un allègement du remblai supplémentaire a été obtenu à travers la réalisation d'un noyau en argile expansée, appliqué par couches de 70 cm environ alternées avec des couches de 20 cm de mélange granulaire.

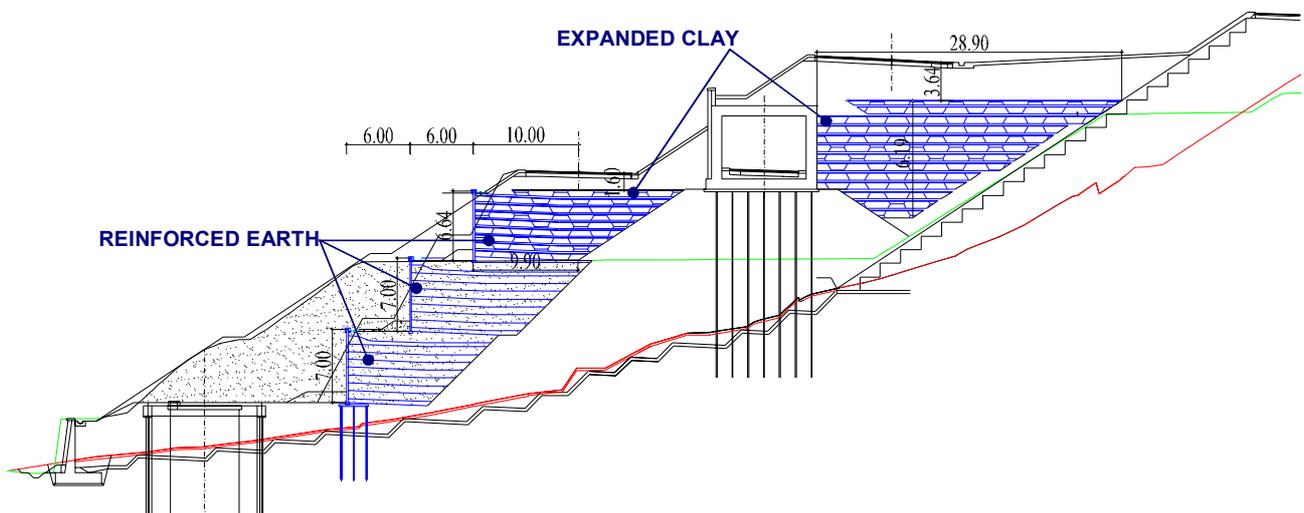


Figure 1 – Intervention de stabilisation sur l'Autoroute Messine - Palerme

### 2.4. Remblai en EPS, ligne ferroviaire Cagliari – Decimomannu

Sur la ligne ferroviaire Cagliari – Decimomannu, en Sardaigne, un pont en caisson à trois travées a été construit dont les fondations reposent sur une large plaque en béton armé. Au début des années 90, des affaissements se sont manifestés dus à la faible capacité de charge du sol de fondation d'origine fluvio-lacustre (masse volumique  $15 \text{ kN/m}^3$ ,  $c_u = 30 \text{ kPa}$ ). Les affaissements, qui ont aussi provoqué des lésions de détente sur les parois latérales, ont abaissé la structure ferroviaire de 50 cm environ. On a donc remplacé le matériau du vieux remblai avec de l'EPS protégé par des feuilles de polyéthylène à haute résistance et surmonté par une sole en béton armé. L'activité ferroviaire a été garantie pendant les travaux grâce à la pose d'une travée métallique provisoire. Le nouveau remblai a été réalisé dans des délais extrêmement réduits par rapport à une intervention traditionnelle, en réduisant à 1/5 le coût des travaux (Buonanno, 2001).

### 2.5. Remblai en EPS, Variante Route Nationale 16 "Adriatique"

Un dernier exemple important d'application de la technique d'allègement du corps routier avec EPS se trouve près du littoral adriatique. Le territoire est caractérisé par le

phénomène de la subsidence, et les études géotechniques ont révélé la présence de dépôts alluvionnaires, alternés de façon complètement casuelle par des couches argileuses, limoneuses- argileuses, limoneuses sableuses et sableuses, intercalées de sédiments organiques. Les essais avec le pénétromètre statique sur les couches statiques ont fourni des valeurs de résistance à la pointe inférieures de 300 kPa, ce qui indique des sols normalement consolidés avec des caractéristiques mécaniques nettement insuffisantes. Les essais de pénétration dynamiques sur les niveaux sableux ont relevé des valeurs de N comprises entre 6 et 43, ce qui indique des sols compactés localement. Pour réaliser la traversée à des niveaux déphasés, on a projeté un viaduc de 10 m de hauteur environ. On a cependant estimé des tassements du plan de pose près des culées de l'ordre de 40 cm. Ces conditions entraînent un important frottement négatif dans les pilots de fondation des culées du pont ce qui compromet la capacité et la stabilité. La solution de projet d'origine de remplir complètement les culées du viaduc avec du matériau traditionnel a donc été abandonnée au profit de l'EPS, étant donné l'importance des affaissements. La dimension des blocs était de 1.00 x 0.50 x 4.00 m avec une masse volumique de 25 kg/m<sup>3</sup>, une résistance à la compression, à 10% de déformation, égale à 170 kN/m<sup>3</sup> environ et un module élastique égal à 6 Mpa environ. Cette solution a permis de vérifier que pour les valeurs maximums des tensions en exercice, les déformations sont contenues sans un champ élastique. Une couche de sable de 35 à 40 cm a été étendue sur le plan de pose sur laquelle on a ensuite posé un géotextile non-tissé d'un poids de 200 g/m<sup>2</sup> (GTXnow) avec fonction anticontaminante. On a ensuite posé trois couches d'EPS, soigneusement protégées par un géotextile thermosoudé (GTXnow) d'un poids de 500 g/m<sup>2</sup> intercalées par une sole en ciment armé de 15 cm d'épaisseur, ayant fonction de durcissement et de répartition des charges (fig. 2). La sole supérieure retournée latéralement en deux bordures de 0,85 m de hauteur, opportunément dimensionnés pour supporter les actions sur les barrières de sécurité. Les blocs ont été ancrés horizontalement avec des grippers. Jusqu'à aujourd'hui, aucun affaissement important ne s'est vérifié dans le corps du remblai.

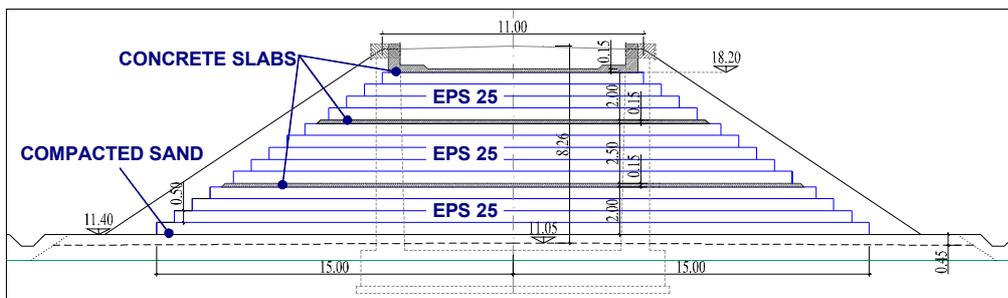


Figure 2 – Coupe transversale et vue de la culée du viaduc de la Nationale 16

### 3. CONCLUSIONS

L'emploi de matériaux de remplissage légers permet d'affronter beaucoup de situations et de problèmes qui seraient difficiles à résoudre avec les méthodes de construction conventionnelles. Les applications pratiques de l'argile expansée et de l'EPS décrites, vont de la réalisation de remblais allégés pour diminuer les affaissements primaires et secondaires, à l'agrandissement du siège du corps routier, à la consolidation de versants éboulés en passant par la réalisation de remplissage au dos de ponts et de viaducs. En Italie aussi, les matériaux légers ont désormais confirmé leur validité technique, aussi bien en phase exécutive, que pendant la vie de l'infrastructure. Ils représentent aussi souvent la seule solution avantageuse à certaines difficultés de projet.

## REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à remercier la Société Bonatti S.p.A. de Parme pour les dessins de l'intervention sur l'Autoroute Messine-Palermo.

## BIBLIOGRAPHIE

- AIPCR, Comitato Nazionale Italiano C12 Pavimentazioni Stradali (2000), Movimenti di Terra, Drenaggi, Sottofondi, Quaderni AIPCR, XXIV Convegno Nazionale Stradale, Saint-Vincent, Aosta, pp 44-50
- Buonanno, A., Rimordi, P. (2001) Ripristino di un Rilevato Ferroviario con Impiego di Geocompositi Styrol, Tecnica Professionale, Roma
- Caraffa, T. (1999) I Lavori per il Primo Lotto della Roma-Fiumicino, Le Strade n. 4/1999, La Fiaccola, Milano, pp 36-40
- Moretti, P., Ranalli, G., Cutruzza, B., Manara, P. (1990) Costruzione e Monitoraggio di un Rilevato in Argilla Espansa su Terreni Altamente Compressibili, Rapporto Interno
- PIARC, Technical Committee on Earthworks, Drainage, Subgrade (C12) (1997), Matériaux Légers pour Remblais / Lightweight Filling Materials, CD-Route 1991-1997