

# STRADE DI SCORIE

## Ricerca di laboratorio e Applicazione sperimentale del Processo CIC alle scorie da incenerimento RSU di Meta S.p.a.

A cura di Adelmo Benassi, Roberto Paparella *Meta Spa*

### PREMESSA INTRODUTTIVA

Secondo il Rapporto Rifiuti 2001 dell'ANPA e dell'Osservatorio Nazionale sui Rifiuti la quantità di rifiuti speciali classificati come inerti (demolizioni e scavi) è su base nazionale stimato (in evidente difetto) in circa il 12.5% del totale dei rifiuti speciali non pericolosi (a fronte di 50 milioni di tonnellate di rifiuti non pericolosi circa 6,3 milioni di tonnellate sarebbero inerti) laddove esistono invece sul territorio nazionale 524 discariche di tipo Catg. IIA e 152 discariche di Catg. IIB. Tanto basta a dimostrare come, nella migliore delle ipotesi, una enorme quantità di rifiuti da demolizione non trova un'adeguata forma di recupero con evidente consumo di risorse ambientali: nuove cave e nuove discariche!

Altrettanto notevole è la produzione di loppe d'altoforno sia a Taranto che a Piombino oltre che in altri minori poli siderurgici italiani; tali scorie, dotate di notevoli proprietà idrauliche, vengono abitualmente aggiunte sia a monte che a valle della produzione del cemento appunto per le loro capacità idrauliche e sono classificate come rifiuti all'interno del Catalogo CER - Codice CER 100202.

Le ceneri pesanti (scorie) derivanti dalla combustione di RSU (codice CER 190101) sono anch'esse dotate di caratteristiche litoidi non disprezzabili ed avendo una granulometria ricca di filler (8/10 % di passante al setaccio da 0.075 mm) producono benefici effetti geotecnici sulle miscele con altri inerti più grossolani riducendone le percentuali dei vuoti; attualmente di queste scorie ne vengono prodotte circa un milione di tonnellate (in prospettiva con l'avvio di nuovi inceneritori si prevede di triplicare tale quantità) che sono destinate quasi esclusivamente allo smaltimento in discarica per rifiuti speciali non pericolosi (le ex discariche di Catg. II° tipo B), con evidente spreco di risorse ambientali ed economiche.

A fronte di tali considerazioni la nostra Società ha intrapreso lo studio delle possibili applicazioni del Conglomerato Idraulico Catalizzato (brevetto C.I.C.), miscela dei tre flussi succitati con aggiunta di appositi catalizzatori di litosintesi.

La presente relazione presenta i risultati della sperimentazione relativa alla "valorizzazione delle scorie da combustione RSU" valutandone l'uso come alternativa ai materiali convenzionalmente utilizzati nella realizzazione di infrastrutture stradali. La sperimentazione è stata commissionata alla nostra Società da META S.p.A nel quadro della politica, avviata nel comune di Modena e basata, come è noto, sul "si-

stema di gestione integrata" dei rifiuti.

Tale modello pone al centro il concetto del recupero e della conseguente valorizzazione delle frazioni merceologiche presenti nei R.S.U.:

- sotto forma di materia riutilizzabile (attraverso la raccolta differenziata delle sole frazioni economicamente recuperabili a monte);
  - sotto forma di energia (recupero energetico dalla combustione dei rifiuti);
  - come recupero di materiali (recupero dei metalli e valorizzazione delle scorie dopo la combustione);
- relegando il ricorso alla discarica solo per quei rifiuti che residuano dal trattamento e che non sono suscettibili di ulteriori valorizzazioni.

Lo studio commissionatoci aveva come obiettivo quello di creare i presupposti tecnico scientifici per la valorizzazione delle scorie da combustione di RSU e, in estrema sintesi, il lavoro che la nostra Società si è proposta di svolgere può essere così riassunto:

1. svolgere le necessarie sperimentazioni geotecniche, ambientali e tossicologiche tendenti a validare l'obiettivo di recupero e di valorizzazione delle scorie stesse attraverso la produzione di Conglomerati Idraulici Catalizzati (C.I.C.);
2. avviare parallelamente, sia le procedure per un **accordo di programma** (Dec.Leg.vo 22/97 art.25) tra Meta (ed eventualmente altre aziende produttrici di analoghe scorie); la Provincia di Modena (ed eventualmente le restanti Province interessate) e la Regione Emilia Romagna per fissare i presupposti per un **processo autorizzativo ordinario**.
3. avviare la fase "commerciale" attraverso accordi con imprenditori locali del settore del recupero degli inerti e della loro vendita.

Per quanto riguarda il punto 1 è stata completata la sperimentazione di laboratorio dei mix che costituiscono il CIC e sono altresì stati completati tutti gli studi relativi agli aspetti tossicologici, ecotossicologici e più ampiamente ambientali connessi con l'utilizzo del prodotto CIC.

Relativamente al punto 2 la nostra Società ha stipulato una Convenzione con il Settore Viabilità della Provincia di Modena per la realizzazione ed il controllo congiunto del campo prova più avanti descritto, autorizzato ai sensi dell'art. 29 del Dlvo 22/97 dall'Assessorato Ambiente della Provincia.

Tale Convenzione prevede che all'ottenimento dei previsti risultati dalla sperimentazione di laboratorio e di campo, oggi illustrata, il C.I.C. venga inserito nei capitolati generali della Provincia.

Parallelamente l'Assessorato Ambiente potrà rilasciare, sulla base dei risultati ottenuti, l'autorizzazione ordinaria ai sensi degli artt. 27 e 28 del Dlvo 22/97 per le attività di produzione di C.I.C..

L'estensione di tale applicazione alle scorie prodotte dagli altri inceneritori della Regione potrà essere agevolata dalla stipula di un Accordo di Programma che è attualmente al vaglio dei competenti uffici regionali.

## LA SPERIMENTAZIONE IN LABORATORIO

La Società Italcic ha commissionato la ricerca tendente a valutare le caratteristiche geotecniche e prestazionali di vari Mix al Laboratorio di geotecnica, Dipartimento Strade della Facoltà di Ingegneria dell'Università "La Sapienza" di Roma, sotto la supervisione del Prof. Antonio D'Andrea.

La novità tecnologica sperimentata consiste nell'utilizzo, come componenti delle miscele di rifiuti e materie prime seconde, aventi granulometria e percentuali adeguate che, in presenza di loppe e/o di ceneri di alto forno, nonché di catalizzatori e tamponi specifici garantiscano le condizioni adatte all'innesco di un processo di litosintesi tra i vari elementi, tale processo si sviluppa nel tempo migliorando le caratteristiche prestazionali del materiale di per sé già buone.

Il processo di litosintesi oltre che a migliorare le prestazioni fisiche del miscuglio provvede a creare l'immobilizzazione degli inquinanti contenuti nelle scorie che si ottiene attraverso la ricristallizzazione dei sali idrati formanti la loppa in presenza dell'ambiente basico tipico delle scorie, incrementato e mantenuto nel tempo dall'inserimento dei catalizzatori e della frazione calcarea contenuta nel materiale proveniente dal trattamento adeguato degli inerti da demolizioni edili.

Il processo sperimentale di laboratorio realizzato su C.I.C. contenenti le scorie da combustione di RSU prodotte da META Spa (CIC/META) è durato circa nove mesi ed è consistito in una serie di attività che possiamo così riassumere:

- sono stati testati vari mix contenenti percentuali variabili di scorie Meta (dal 37.5% fino al 70.0%) al fine di studiare le composizioni più efficaci (le scorie sono state disidratate prima di essere usate per poter meglio stimare i livelli ottimali di umidità dei miscugli);
- sono stati testate varie combinazioni di catalizzatori per testare quelle che meglio si adattavano ai materiali in gioco;
- tutti i mix testati sono caratterizzati da elevati valori di CBR (alcuni mix hanno addirittura valori di CBR ampiamente superiori al 100%) e hanno dunque un ottimo comportamento anche come semplice miscuglio di materiali incoerenti;
- nei provini non si sono riscontrati fenomeni di rigonfiamento;
- le curve granulometriche hanno un ottimo andamento;
- si sono testate le variazioni nel tempo delle resistenze sia a trazione indiretta che a compressione dei provini per testare il fenomeno della litosintesi e dunque il fenomeno della presa idraulica dei miscugli;
- si è testata infine anche la permeabilità dei conglomerati realizzati in laboratorio.

Dalle ricerche di laboratorio è emerso che gli inerti da demolizione opportunamente trattati, le scorie e le loppe, adeguatamente miscelate e proporzionate hanno già di per sé (vale a dire come semplice miscuglio) un comportamento geotecnico ottimo che garantisce l'ottenimento di prodotti con caratteristiche geotec-

niche e comportamentali eccellenti, frequentemente superiori a quelle dei migliori inerti stabilizzati e comparabile, una volta avvenuta la presa litosintetica, addirittura ai misti cementati.

Per una più immediata comprensione dei dati si ricorda che la prova CBR (universalmente utilizzata per caratterizzare gli inerti per costruzioni stradali) consiste nel porre a confronto l'inerte studiato con il comportamento di una particolare sabbia californiana usata come riferimento; quando si dice perciò che un inerte ha un valore di CBR del 50% significa che, per far penetrare da un punzone tarato il materiale, compattato secondo precisi standard, è necessaria una forza pari al 50% di quella necessaria a punzonare quella sabbia californiana di riferimento.

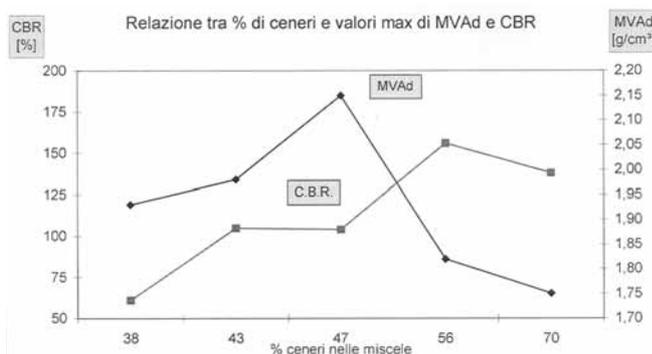
Nelle costruzioni stradali sono riconosciuti come validi materiali da fondazione stradale quelli con valori di CBR costantemente superiori a 50%, nei nostri mix si sono riscontrati abitualmente valori superiori a 100 %.

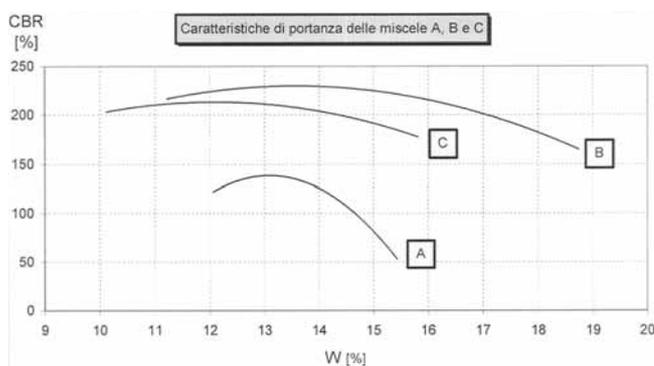
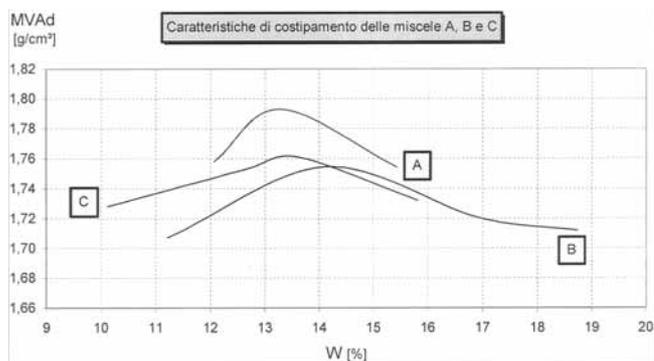
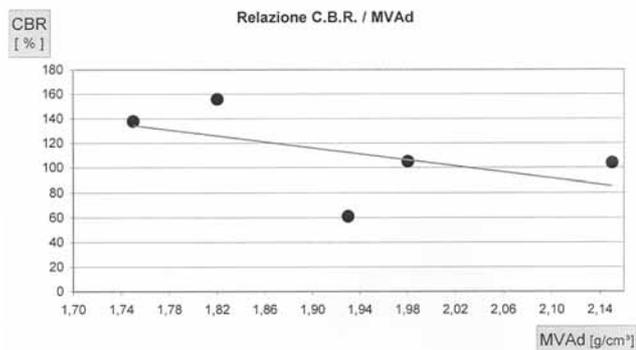
A valle dell'ampia sperimentazione di laboratorio ed alla luce delle condizioni reali riscontrate, si è optato per due differenti composizioni (45 e 60% di cenere nel MIX), testando infine la possibilità di diminuire la percentuale di loppa rispetto al valore del 12% ritenuto ottimale.

La loppa (proveniente dagli impianti siderurgici di Piombino) è stata sottoposta a leggera macinazione anche in considerazione del fatto che alcune partite di tale materiale, se lasciate in area di stoccaggio per lunghi periodi tendono ad aggregarsi modificando la loro reale ed originaria granulometria.

Sulla base dei materiali sopra descritti si è proceduto alla caratterizzazione dei MIX dal punto di vista geotecnico ottenendo i risultati riportati nelle figure e nei diagrammi che seguono.

Da tali diagrammi si evidenziano valori del CBR, riscontrati in laboratorio, superiori a 200% per i mix con il 60% di cenere e a 130% per i Mix con il 40% di cenere a conferma di quanto già emerso nella prima fase della sperimentazione su tale aspetto. Permane sempre una ampia gamma di percentuali di umidità caratterizzate da elevati valori di CBR a dimostrazione che il CIC è comunque indifferente ad un eccesso di acqua nei limiti comunque della possibilità di ottenere un costipamento ottimale.





Provini in maturazione



Nella foto si evidenzia la rottura quasi perfetta lungo una direttrice del cilindro di uno dei provini sottoposti alla prova di resistenza a trazione indiretta RTI.

## PROGRAMMA SPERIMENTALE DI SICUREZZA SUL C.I.C/META – PROVE TOSSICOLOGICHE ED ECOTOSSICOLOGICHE

Il C.I.C/META è stato sottoposto ad un protocollo di studi sperimentali di tossicologia e di ecotossicologia al fine della valutazione del rischio ambientale ed umano dello stesso nelle due possibili esposizioni:

a) durante la lavorazione e la messa in opera da

parte degli operatori;

b) durante la vita come componente di pavimentazioni stradali, nei confronti dei comparti ambientali acquatico, terrestre ed aereo.

### Caratterizzazione del campione

Il campione utilizzato per le prove sperimentali è stato confezionato con scorie pesanti prelevate dal forno inceneritore Meta nel mese di maggio 2002. Detta confezione è stata realizzata presso il laboratorio del Dipartimento Idraulica e strade della Facoltà di Ingegneria-Università La Sapienza-Roma. Il campione è stato sottoposto ad un periodo di maturazione di giorni 45 e quindi inviato a Chemsafe in data 28/10/02 (identificato con numero di lotto MIXB).

Le prove tossicologiche ed ecotossicologiche sono state effettuate sul campione identificato con lotto MIXB nel periodo ottobre-dicembre 2002.

Il tipo di programma scelto comprende i seguenti studi:

#### Tossicologia

Tossicità acuta orale nel ratto (OECD 423)

Tossicità acuta dermale nel ratto (OECD 402)

Irritazione cutanea nel coniglio (OECD 404)

Irritazione oculare nel coniglio (OECD 405)

Sensibilizzazione cutanea nella cavia (OECD 406)

Test di Reversione batterica (Test di Ames)(OECD 471)

I test scelti mimano le condizioni più comuni di esposizione umana acuta durante le lavorazioni; segnatamente l'ingestione e l'esposizione cutanea come aspetti di tossicità sistemica, il potenziale irritante per la pelle e per gli occhi, il potenziale sensibilizzante a seguito di esposizione cutanea ripetuta della sostanza. Il test di reversione batterica offre un primo screening per una eventuale potere mutageno del C.I.C/META.

#### Ecotossicologia

Tossicità acuta nella Daphnia magna (OECD 202)

Tossicità acuta nel pesce (Brachidanio rerio) (OECD 203)

Test di inibizione della crescita algale (OECD 201)

I tre test di ecotossicologia scelti permettono di ottenere un profilo tossicologico acuto poiché spaziano da una prova su un crostaceo di acqua dolce, Daphnia magna, sensibile alle variazioni chimiche del suo ambiente di vita, ad una prova su un organismo vertebrato quindi più complesso, il pesce, fino a giungere ad una prova di inibizione di crescita su una specie vegetale, l'alga verde, molto sensibile anch'essa alle sostanze chimiche eventualmente presenti nell'ambiente.

Tutti gli studi di ecotossicologia sono stati effettuati previo mantenimento del campione ad una concentrazione nominale di 100 mg in soluzione supersatura nelle acque utilizzate per i test (1 Litro) per un periodo di 24-25 ore, in continua agitazione ad una temperatura intorno ai 30°C al fine di mimare la condizione ambientale e favorire l'eventuale estrazione di composti tossici. I risultati sono quindi stati espressi in relazione alla concentrazione nominale aggiunta (100 mg/L).

Tutti gli studi sperimentali sono stati eseguiti se-

condo le linee guida dell'OECD (Organizzazione per lo Sviluppo Economico) universalmente riconosciute come standard di metodi sperimentali dai punti di vista:

- scientifico, metodi validati che offrono risultati comparabili e riconosciuti;

- etico, permettono un uso dell'animale corretto e secondo criteri di minimo utilizzo;

Gli studi sono stati effettuati presso due laboratori certificati secondo le Buone pratiche di Laboratorio (CERB SA per le prove tossicologiche, IBACOM GmbH per le prove ecotossicologiche). Il test di Ames è stato effettuato presso l'Institute Pasteur de Lille (Parigi) anch'esso certificato secondo le prassi GLP. Tutte le fasi sperimentali nonché i protocolli di prova e le relazioni finali sono stati monitorati dalla società Chemsafe.

Il C.I.C/META è risultato in base ai dati sperimentali

- non tossico per ingestione
- non tossico né sensibilizzante per esposizione cutanea
- non irritante per la pelle e per gli occhi
- non mutageno
- non ecotossico.

Il prodotto C.I.C/META non è pertanto classificabile come "composto pericoloso" né per i possibili effetti sulla salute umana (operatori) né per la possibile pericolosità ambientale (ecotossicologia) e non vengono imposte quindi azioni di primo soccorso di tipo particolare.

Per quanto riguarda la salute umana si è escluso altresì il possibile danno a seguito di inalazione del prodotto in quanto le particelle che lo costituiscono non sono tali da essere respirate (arrivando all'alveolo polmonare) e quindi da produrre un danno. L'umidità stessa del prodotto finale (circa il 10% di acqua) limita significativamente l'eventuale emissioni di polveri fini.

Tutte le operazioni durante i processi industriali di produzione e di utilizzo del C.I.C/META sono eseguiti in maniera automatizzata con l'ausilio di mezzi meccanici. Laddove necessita più direttamente l'intervento umano, l'operatore è tenuto ad indossare specifici DPI al fine di annullare l'eventuale esposizione.

Il trasporto del C.I.C/META verso le aree di stoccaggio e verso le aree di messa in opera (cantieri stradali) viene effettuato con mezzi meccanici (camion con paratie molto alte) che annullano le eventuali perdite sul terreno del prodotto.

In merito alla valutazione di rischio ambientale forniamo alcuni cenni di carattere generale utili a comprendere i risultati ottenuti.

- Schema generale di valutazione.

Lo schema generale di valutazione prevede che, attraverso i dati significativi vengano stabiliti per ogni comparto ambientale (aereo, terrestre, acquatico) la concentrazione ambientale prevista della sostanza in studio (PEC) e la concentrazione per la quale non si prevedono effetti biologici (PNEC). Se il valore di

PEC supera quello di PNEC ( $PEC/PNEC > 1$ ) vi è il rischio di danno ambientale, proporzionale al valore di tale rapporto.

- Valutazione dell'esposizione

Il PEC viene calcolato sulla base dello scenario che rappresenta il caso realistico peggiore. Nel calcolo va considerato il tipo o i tipi di rilascio possibili (p.es. sorgenti puntuali o diffuse, continue, semi-continue o intermittenti) poiché ciò ha conseguenze importanti sulla durata e la frequenza dell'esposizione di un ecosistema ad una sostanza. Se sono disponibili dati reali provenienti da un monitoraggio, questi sono preferibili rispetto alle previsioni.

- Valutazione degli effetti biologici

Il PNEC si calcola dai dati provenienti dall'ecotossicologia, combinati con un "fattore di sicurezza". Tale fattore riflette l'affidabilità riposta nel dato sperimentale. (Nel caso di sperimentazioni sulla tossicità acuta tale fattore viene prudenzialmente fatto pari a 1000).

- Caratterizzazione del rischio

Il confronto tra PEC e PNEC consente la stima di rischio: il rapporto tra PEC e PNEC viene preso come misura della probabilità del verificarsi di rischio.

Nel caso in esame tutti i parametri ecotossicologici (EC50, LC50, NOEC) sono superiori al valore della concentrazione nominale di 100 mg/L. Ciò significa che vi è assenza di effetti tossici a seguito di una esposizione alla concentrazione nominale di 100 mg/L. Si esclude pertanto la classificazione di pericolosità per l'ambiente. La PNEC (concentrazione ambientale senza effetto prevista) è maggiore di 100 mg/L introducendo come fattore di sicurezza 1000 rispetto al valore della NOEC (No Observed Effective Concentration), sulla base della concentrazione nominale utilizzata. La PNEC effettiva è certamente più alta di quella sperimentale calcolata su quella concentrazione nominale di 100 mg/L imposta dai metodi sperimentali come valore massimo da testare.

Poiché le uniche componenti del C.I.C. a potenziale rischio ambientale sono rappresentate dai metalli si è calcolato il PEC su ognuno di loro.

La valutazione del rischio effettuata con due approcci diversi porta ad un valore di PEC/PNEC inferiore di 1 per tutti i metalli presenti nel C.I.C..

In considerazione di tutto quanto sopra illustrato, si può affermare che il rischio di danni per la salute umana e per l'ambiente provocati da una esposizione accidentale al prodotto C.I.C/META, nelle tipiche condizioni di lavorazione ed uso e in considerazione della natura stessa del prodotto, può considerarsi nullo.

#### LEGENDA

DL50 =	Dose somministrata (orale o dermale) che provoca il 50% di mortalità
EC50 =	Concentrazione effettiva che provoca il 50% di immobilizzazione nella Daphnia
LC50 =	Concentrazione letale che provoca il 50% di mortalità nel pesce
NOEC =	Concentrazione senza effetti osservabili
PEC =	Concentrazione ambientale stimata
PNEC =	Concentrazione senza effetti prevista
PEC/PNEC =	rapporto fra la conc. Ambientale stimata e quella alla quale non si prevedono effetti biologici

### CAMPO PROVA

Descrizione dell'intervento realizzato all'interno dello stabilimento META di Via Caruso - sulla base di apposita convenzione con la Provincia di Modena

Il tratto di strada sperimentale, realizzato all'interno dello stabilimento META di Via Caruso, consiste in quattro lotti fisicamente separati tra loro costituiti da quattro invasi, realizzati con opere di impermeabilizzazione, drenaggio e regimazione delle acque piovane secondo le tecniche previste per le discariche.

lotto I	Lotto II	Lotto III	Lotto IV
Lunghezza 25 m	Lunghezza 25 m	Lunghezza 25 m	Lunghezza 25 m
Larghezza 7,5 m	Larghezza 7,5 m	Larghezza 7,5 m	Larghezza 7,5 m

#### Requisiti progettuali del campo sperimentale

Ciascun lotto è stato reso idraulicamente indipendente mediante setti verticali di separazione che evitano la commistione delle acque eventualmente percolanti. Per ciascun lotto si è realizzata una raccolta delle acque percolanti mediante la realizzazione di quattro sistemi di raccolta costituiti da pozzetti separati raccordati al drenaggio che è stato realizzato sotto a ciascun pacchetto del lotto sperimentale; il drenaggio è costituito da uno strato di ghiaia nello spessore di 10/15 cm protetto superiormente da una stesa di TNT per evitare l'intasamento del drenaggio stesso.

Per quanto riguarda il corpo del rilevato esso è stato realizzato con due diversi MIX di composizione del CIC varianti da una presenza di cenere percentualmente pari al 45% e al 60%. Per quanto riguarda gli spessori complessivi dei vari pacchetti sperimentali si è previsto uno spessore complessivo di circa 100 cm. .

Per evitare difficoltà di circolazione all'interno dello stabilimento Meta e per poter più agevolmente procedere con il passaggio dei mezzi sul tratto di strada sperimentale si è deciso di realizzare i pacchetti di rilevato procedendo al loro incasso rispetto al piano di campagna per circa 110 cm. così da avere poi la strada sperimentale a raso con la viabilità esistente. Le opere di impermeabilizzazione del fondo sono costituite da uno strato di TNT da 400 Gr/mq e da un telo in PEAD di 2 mm di spessore raccordato sulle sponde dello scavo e successivamente sui fianchi del rilevato al fine di evitare ogni inserimento di acque estranee, una volta realizzati i corpi di struttura stradale sperimentale, se non dalla parte superiore del piano stradale.



Sono stati posti in opera tubi atti al pescaggio delle acque raccolte nello strato drenante posto subito sopra ai teli in PEAD.

### LA REALIZZAZIONE DEL CAMPO PROVA – PROBLEMATICHE EMERSE E RISULTATI

In dipendenza dei tempi amministrativi collegati alla autorizzazione al campo prova, i lavori sono iniziati in pieno periodo invernale con piogge particolarmente importanti che hanno dato luogo a due diversi problemi, disgiunti e con conseguenze non adeguatamente previste, del tutto indipendenti dalla qualità del materiale in sperimentazione; tali problemi hanno però consentito di testare il materiale in condizioni “estreme”:

#### 1. Riempimento delle vasche e prime misurazioni del modulo di deformazione

- Entrambe i MIX prescelti per la prova sul campo sono stati confezionati con una umidità di circa il 29/30% e dunque ampiamente fuori del range ottimale che, come illustrato precedentemente, varia tra il 13 ed il 18%. Tale eccesso di umidità era dovuto da un lato alla forte umidità delle ceneri che non è stato possibile stoccare in maniera tale da provocarne una parziale disidratazione (sono stati infatti utilizzati impianti non specifici per la produzione del CIC), dall'altro lato alla contemporanea forte umidità dei cumuli di loppa e scorie da demolizione inzuppati dalle ingenti piogge del periodo;
- le particolari modalità di posa del materiale, legate alla esigenza di controllare gli eluati (all'interno di catini completamente impermeabili e dunque impossibilitati a drenare efficacemente le acque del composto) hanno di fatto impedito per un lungo periodo la compattazione del materiale;
- lo strato drenante, realizzato in ghiaia, dello spes-



sore di 10 cm, è risultato insufficiente ad operare quel effetto drenante che si sarebbe prodotto sullo stesso materiale se fosse stato posto su un letto drenante vero o su un terreno anche modestamente permeabile e non all'interno di un catino in PEAD;

- la evaporazione conseguente all'innalzamento della temperatura ed all'irraggiamento solare primaverile ha consentito comunque di ricondurre la umidità del materiale a valori tali da consentirne una sia pur parziale compattazione; la compattazione è avvenuta però su un unico strato di posa di circa un metro e su un materiale parzialmente asciugato solo nella sua crosta superficiale e dunque in condizioni ampiamente diverse da quelle ottimali;
- la somma degli inconvenienti sopra illustrati ha dato luogo, in sede di primo sopralluogo da parte del laboratorio geotecnico incaricato dalla Provincia, a risultati assolutamente inconsistenti in termini di resistenza (in forte contrasto con i risultati ottenuti in laboratorio) e rapporti molto alti tra i valori dei moduli di deformazione tra primo e secondo ciclo di carico (ciò a dimostrazione di una scarsa efficacia della compattazione eseguita).

## 2. Svuotamento delle vasche 3 e 4 misurazione del modulo di deformazione del sottofondo

- Costata la impossibilità di ottenere una efficace costipamento dei materiali nelle condizioni sopra illustrate, si è deciso di svuotare le vasche 3 e 4 e di attendere che, per evaporazione, l'umidità ritornasse a valori compatibili con il costipamento, verificando altresì il funzionamento dei dreni;
- scoperti i primi cinquanta cm delle prime due vasche ci si è resi conto che le condizioni di impossibilità di costipamento dipendevano in realtà anche da un altro fattore, del tutto indipendente dal materiale CIC in via di sperimentazione. Si è constatato infatti che il fondo delle vasche poggiava di fatto su un materasso d'acqua, per la presenza nella zona di una microfalda superficiale (il terreno in situ è argilloso) con superficie libera più alta del fondo delle vasche stesse;
- si sono perciò scavati due fossi drenanti laterali, in

adiacenza alle quattro vasche, per consentire l'abbassamento della falda (fenomeno che è avvenuto quasi immediatamente per quanto riguardava le acque libere incastrate sotto al PEAD) che assorbiva completamente la energia trasmessa dal compattatore.

## 3. Drenaggio delle acque di falda dal sottotelo e inizio della vera compattazione.

Eliminata l'acqua sotterranea nella seconda settimana di Giugno, finalmente il compattatore è riuscito a svolgere adeguatamente il suo compito e si sono di nuovo riempite le vasche 3 e 4 che, come detto, hanno subito parecchie manomissioni;

Le altre due vasche (1 e 2) sono state lasciate viceversa così come originariamente realizzate e dunque con un costipamento unico dall'alto dello strato di 100 cm. Nel momento in cui ci accingevamo a svuotarle per poterle compattare in maniera corretta, a seguito di ulteriori prove su piastra, ci si è accorti che i moduli di deformazione raggiunti in queste due vasche erano più che accettabili (la presa idraulica del materiale aveva sopperito al carente costipamento) per cui si è deciso di lasciare le due vasche così come erano in quanto avrebbero fornito elementi cognitivi alla sperimentazione più interessanti in tali condizioni che procedendo alla loro manomissione.

Allo stato pertanto le vasche 1 e 2 risultano riempite con i mix previsti in progetto, hanno goduto di una compattazione effettuata con un unico strato da 100 cm e, in considerazione della resistenza raggiunta, hanno iniziato efficacemente il loro processo di presa idraulica - i risultati ottenuti, pur in presenza di tale quantità di problemi, sono più che soddisfacenti.

Le vasche 3 e 4 hanno subito molti rimaneggiamenti e risultano, allo stato, efficacemente drenate e compattate in strati di circa 25/30 cm; in tali vasche non è certamente iniziata la presa idraulica e pertanto i valori dei moduli di deformabilità riscontrati nelle recenti prove geotecniche sono da ascrivere esclusivamente al CIC considerato come materiale incoerente (ci troviamo cioè nelle condizione caratteristiche del materiale appena posto in opera).

I valori dei moduli di deformazione riscontrati nelle condizioni sopra descritte, prima della posa degli strati di fondazione (misto cementato + Conglomerato bituminoso, o solo quest'ultimo) sono i seguenti:

nella vasca 1 -- 888 Kg/cm<sup>2</sup>

nella vasca 2 -- 1.150 Kg/cm<sup>2</sup>

nella vasca 3 -- 500 Kg/cm<sup>2</sup>

nella vasca 4 -- 500 Kg/cm<sup>2</sup>

I valori sopra indicati sono quelli riscontrati dal laboratorio di indagine geotecnica della Provincia nella prova effettuata in data 20 giugno '03 alla presenza del Geom. Andrea Biagini durante le quali si è anche proceduto alle misure dell'addensamento in opera del CIC.

In tale data si è convenuto di completare le quattro sezioni del campo sperimentale con la realizzazione, ove previsto, dello strato di misto cementato e del pacchetto dei neri costituiti da due strati (7 + 4) di conglomerato bituminoso. Tali operazioni si sono concluse nel mese di luglio e, dall'inizio di agosto, è iniziato il transito dei mezzi pesanti per studiare il comportamento della strada sotto sforzo.

#### 4. Le prove di modulo dopo utilizzo parziale della sede stradale

La carreggiata, una volta pavimentata, è stata opportunamente delimitata per consentire il transito solo su una parte della stessa lasciando inutilizzata una fascia di circa due metri al fine di consentire i confronti tra parti assoggettate a stress e non. Nei mesi di agosto e settembre la strada è stata utilizzata per il transito dei camion in ingresso allo stabilimento e sono dunque noti i carichi ed i passaggi cui è stata sottoposta la fascia di carreggiata individuata per il transito.

Trascorsi circa due mesi di transito si è proceduto alla misurazione dei moduli elastici mediante prove con Falling Weight Deflectometer svolte da tecnici della Università di Pisa.

I valori definitivi sono ancora in fase di elaborazione (il laboratorio dell'Università di Pisa è uno dei pochi che abbiano in dotazione il suddetto strumento e sono dunque particolarmente impegnati). Per quanto riguarda invece i primi riscontri, che è stato possibile ottenere già durante la effettuazione della prova, essi rispecchiano quelli già rilevati con le prove geotecniche effettuate in luglio e dunque dimostrano un ottimo comportamento per i pacchetti sperimentati nei lotti 1 e 2 e valori meno brillanti per i lotti 3 e 4.

#### **GLI ASPETTI DI NATURA AMBIENTALE**

Per la raccolta di campioni identificabili come "bianco" delle acque si è proceduto a raccogliere le acque meteoriche con lo strumento di tipo pluviografico che ha registrato gli eventi al fine della documentazione per il monitoraggio.

Le ulteriori prove di natura ambientale si sono svolte secondo il protocollo che segue:

- Aspersione acqua sulla superficie della strada, ripetuta

ogni tre/cinque giorni, e raccolta nell'apposito pozzetto di campioni acque di ruscellamento una dopo ogni aspersione o evento meteorico naturale (almeno quattro campioni); registrazione eventi meteorici, raccolta di un campione dal pluviografo – analisi chimica dei campioni suddetti.

- Verifica continua della eventuale presenza di percolato nei pozzetti drenanti.
- Immissione di acqua con caratteristiche chimico – fisiche note (1.000 litri) e pompaggio della medesima a svuotare. L'operazione deve essere ripetuta almeno due volte per essere in grado di conoscere quanta acqua può essere pompata a fronte di un'immissione di 1.000 litri. (Il dato serve per conoscere quanta acqua si dovrà far eventualmente percolare in maniera forzata per essere certi di riuscire ad estrarne una quantità significativa).
- Avendo analizzato i metalli nell'acqua utilizzata per l'operazione sopra descritta potranno poi farsi gli opportuni raffronti con quella raccolta a seguito di percolazione forzata.
- Prosegue il transito veicoli sui 4 lotti su metà carreggiata. Predisporre il dettaglio dei transiti effettuati prima e dopo le prove geotecniche effettuate Giovedì 18 settembre dai tecnici della Università di Pisa (carichi totali e numero di assi).
- Asportazione sui lotti 1 e 2, lato non transitato, di due fasce di conglomerato bituminoso, per uno spessore di 7/8 cm, per una larghezza di 1 metro e una lunghezza di 15 metri.
- Aspersione su ognuna delle due zone sopradette di 2,5 m<sup>3</sup> di acqua nell'arco di 10 ore (quantità pari al 20/25% della pioggia annuale media della zona). Se piove naturalmente verrà immessa una quantità di acqua inferiore in funzione della pioggia effettivamente caduta sui 15 metri quadri.
- Verifica di eventuale percolato dopo 3 giorni nei vari pozzetti. Misurazione delle quantità eventualmente percolate per poter valutare le effettive diluizioni da portare in conto (rapporto tra acqua percolata e quella ruscellata) – tale dato fornisce in effetti la reale concentrazione degli inquinanti che vengono immessi nell'ambiente sottostante la strada.
- Nella eventualità che non si formi una quantità significativa di percolato, si provvederà alla esecuzione di circa 300 fori da 30 mm. di diametro (nel lotto 2) di profondità pari a 80 cm. con battuta fissa in maniera da essere certi di non perforare il drenaggio e tanto meno il telo in HDPE.
- Immissione forzata di acqua nella zona abrasa fino a raggiungere la saturazione dei fori che andranno mantenuti saturi fino ad una immissione certa di acqua in quantità sufficiente come valutato ai precedenti punti.
- Prelievo di tutta l'acqua percolata forzatamente ed analisi dei contaminanti abitualmente verificati. •