



REALIZZAZIONE DI OPERE VIARIE IN AREE DEGRADATE MEDIANTE INERTI RICICLATI IN SITO

Vanni Berni

Dipartimento di Infrastrutture, Idraulica, Ambiente e Rilevamento
Politecnico di Milano - Piazza Leonardo da Vinci 32, - 20133 Milano - Italia
Tel: +39 02.23996704
E-mail: berni@soceco.it

Giovanni Da Rios

Dipartimento di Infrastrutture, Idraulica, Ambiente e Rilevamento
Politecnico di Milano - Piazza Leonardo da Vinci 32, - 20133 Milano - Italia
Tel: +39 02.23996655 - Fax: +39 02.23996606
E-mail: gdr@timaspa.com

Loretta Venturini

Dipartimento di Infrastrutture, Idraulica, Ambiente e Rilevamento
Politecnico di Milano - Piazza Leonardo da Vinci 32, - 20133 Milano - Italia
Tel: +39 02.23996619 - Fax: +39 02.23996657
E-mail: venturini@mail.dstm.polimi.it

REALIZZAZIONE DI OPERE VIARIE IN AREE DEGRADATE MEDIANTE INERTI RICICLATI IN SITO

VANNI BERNI – Dipartimento di Infrastrutture, Idraulica, Ambiente e
Rilevamento - Politecnico di Milano
GIOVANNI DA RIOS – Dipartimento di Infrastrutture, Idraulica, Ambiente e
Rilevamento - Politecnico di Milano
LORETTA VENTURINI – Dipartimento di Infrastrutture, Idraulica, Ambiente e
Rilevamento - Politecnico di Milano

Sommario

La realizzazione del prolungamento della Tangenziale Est di Milano verso Monza, costituisce un significativo esempio di recupero ambientale di aree degradate e di reimpiego di scarti metallurgici.

Lo studio del tracciato evidenziava come la collocazione della nuova autostrada, con un percorso adiacente le anse del fiume Lambro, in aree degradate da pregresse estrazioni di inertici e da discarica di scorie delle acciaierie Falck, rappresentasse una valida miglitoria ambientale.

La morfologia dei luoghi, caratterizzata da cave dismesse profonde 30 m con falda a giorno, e da cumuli altrettanto sopraelevati, ha indotto il progetto stradale al ripristino delle originarie quote del piano campagna; l'operazione richiedeva la disponibilità di circa un milione di mc di materiali di riempimento.

Per la mancanza di cave adeguate a ragionevoli distanze, e per la necessità di rimodellare i luoghi, si prevedeva di utilizzare a tale scopo le scorie presenti in zona.

Le scorie disponibili si presentavano come una miscela ghiaioso-sabbiosa di colore nero-grigio con diametro variabile da pochi millimetri a 10 cm, con scarsa presenza della frazione fine, consistenza vetrosa-ferrosa e vacuolare con elevata fragilità.

La sperimentazione eseguita dal Laboratorio Sperimentale Stradale del Politecnico di Milano ha riguardato:

- la tipizzazione delle molteplici scorie in tre fondamentali miscele;
- l'individuazione di carenze granulometriche;
- la ricerca di elementi fisico meccanici di stabilizzazione;
- l'ottimizzazione delle percentuali di stabilizzante.

Una prima fase dei lavori ha riguardato la classificazione degli ammassi di scorie tramite rilievi topografici di precisione, indagini fisico-chimico-meccaniche e test di cessione. Le maggiori cause di esclusione nel reimpiego sono derivate proprio dalla non rispondenza di questi test.

Il materiale è stato additivato in sito mediante miscelatrice a rullo, previa calibratura degli additivi, anch'essi derivanti da riciclati minerari.

Prove di carico con piastra e di densità in sito hanno consentito di controllare l'esecuzione con continuità. Il monitoraggio dei cedimenti, nonostante l'elevata altezza del rilevato, ha consentito di procedere dopo un paio d'anni all'apertura del traffico dell'importante arteria.

La protezione della falda a giorno dalle acque di infiltrazione si è ottenuta colmando con ciottoli di scarto le depressioni sotto falda e sovrapponendo un successivo tampone

impermeabile di terra limo-argillosa. Il tampone confinava con canalette esterne di controllo che non hanno dato risultati di contaminazione.

Abstract

The prolongation works of the Eastern Milano Bypass Highway to Monza have been remarkable both for the environmental recovery carried out in degraded areas and for the broad utilization of metallurgical discards.

The layout study has been designed to be a valid environmental improvement, positioning the new highway closer to the Lambro river. In the past, the involved areas had been degraded by granular materials quarries or had been used as steel-works cinder dumps.

The highway construction has been the occasion to restore the original land morphology, levelling the 30-meters deep quarries and the 30-meters high heaps to the plain elevation. This operation needed millions of cubic meter of filling material.

Because of the lack of suitable quarries in a short distance and the need to re-model the area, the use of the locally available slag has been considered.

These slag looked like a black-grey mixture of gravely-sandy elements, whose diameters varied from some millimeters to 10 centimeters, with few fine components. The cinders had a glassy-ferrous vacuolar consistence and a remarkable brittleness.

The experimental study carried out by the Politecnico of Milan Road Laboratory has aimed at:

- subdividing the manifold cinders in three basic categories;
- assessing the particles size and possible lacks;
- setting up methods for the physical-mechanical stabilisation;
- optimizing the filler percentage.

In the first stage of the study, the heaps of cinder have been classified by topographical surveys, physical-chemical-mechanical tests and cession test. The decision not to reuse some materials has been made mainly after unsatisfactory results of the last tests.

The additive calibration has been carried out in situ.

Plate load tests and in-situ density tests have been constantly performed to control the construction works; the highway has been opened to circulation after about two years of works.

The embankment has been protected from infiltration water by filling the depressions beneath it with discarded pebbles, and laying on top a tampon of silty-clayey soil. The tampon is confined by small external control channels, which have not shown any contamination.

1. INTRODUZIONE

La realizzazione di una nuova strada nel contesto periurbano di una città di grandi dimensioni presenta notevoli problematiche per l'individuazione dei corridoi entro i quali collocare l'infrastruttura, per l'esigenza di verificare la compatibilità sia con i vincoli geometrici del tracciato sia con la situazione territoriale e ambientale dei luoghi. Si tratta di un contesto caratterizzato da una elevata densità abitativa, di tipo misto residenziale e produttivo, nel quale le aree libere consistono spesso in siti di pregressa attività industriale [22].

In un tessuto urbano e ambientale di queste caratteristiche veniva collocato, verso l'inizio degli anni '90, il prolungamento della Tangenziale Est di Milano, noto con il nome di "Peduncolo", un'importante arteria autostradale che consente il completamento del Sistema Tangenziale di Milano verso Nord (innesto sulla A4 alla barriera di Milano Est) e verso Ovest (innesto con la Nuova Comasina).

In particolare, il 1° lotto del Peduncolo, di cui si tratta, trae origine dallo svincolo di C.na Gobba della Tangenziale Est e termina dopo circa 4,5 Km innestandosi sull'A4 Milano – Venezia, toccando lungo il percorso i Comuni di Sesto San Giovanni, Cologno Monzese e Monza (Fig. 1), all'interno del continuo insediativi dell'area metropolitana milanese.

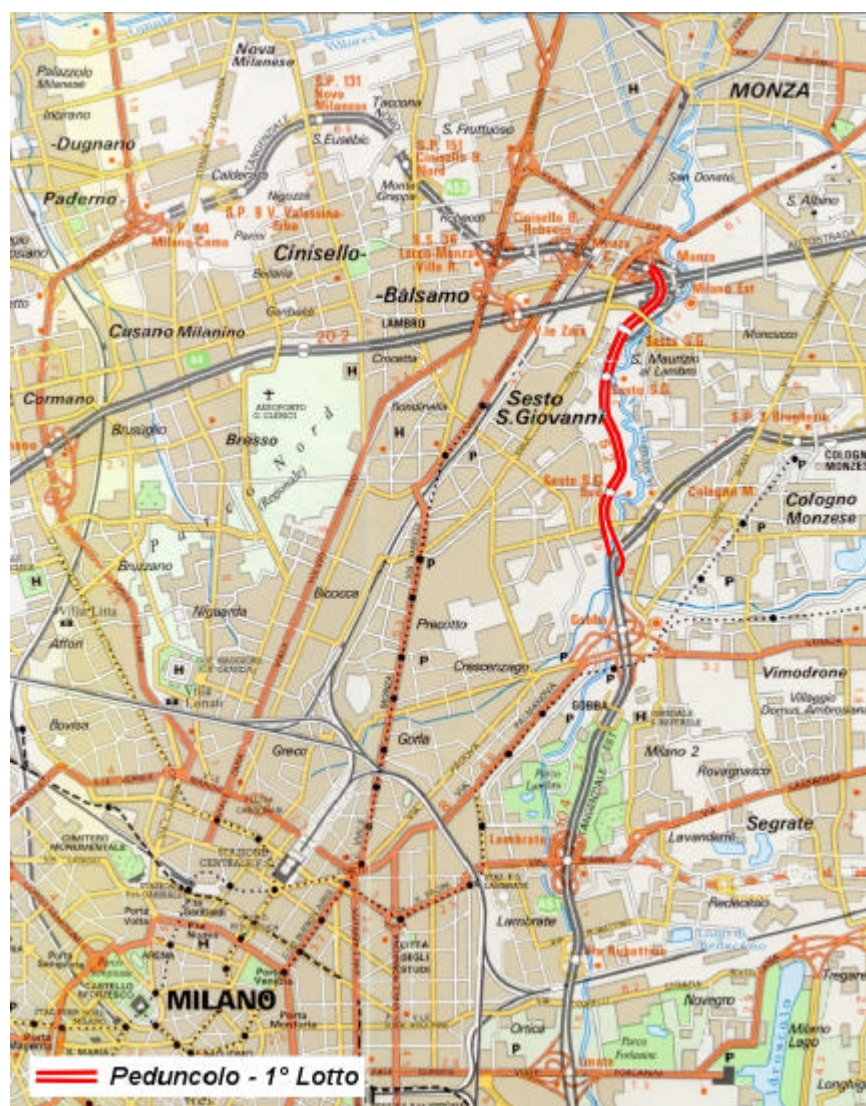


Figura 1 – Corografia del Peduncolo e individuazione del tratto relativo al 1° lotto

Le caratteristiche peculiari del territorio sono marcate dal Fiume Lambro, che taglia la zona con percorso di diverse anse, attorno al quale nel passato sono state collocate, in particolare tra le progr. 1+700 e 2+550 della nuova strada, le aree industriali delle acciaierie Falck, le connesse discariche delle scorie di altoforno, sopraelevate fino a 20

m, e un'ampia cava per il prelievo degli inerti, approfondita 20 – 30 m rispetto al piano campagna con falda a giorno (Fig. 2).

Le preliminari verifiche tecniche e ambientali delle opere necessarie alla realizzazione della strada mettevano in evidenza la necessità di ripristinare le originarie quote del piano campagna, sul quale in seguito realizzare il corpo stradale di tipo tradizionale, e di proteggere la falda riempiendo il fondo delle cave per un adeguato spessore; lavorazioni che nell'insieme comportavano l'acquisizione in tempi brevi di circa 1.000.000 di mc di inerti, un quantitativo cioè incompatibile con i piani estrattivi della Provincia di Milano e delle province limitrofe.

Tale valutazione, unitamente alla constatazione che il volume di scorie Falck scaricate negli anni era sufficiente a sopperire al fabbisogno di inerti, induceva a considerare la possibilità del loro utilizzo per le lavorazioni stradali, realizzando in tal modo un significativo recupero ambientale sia delle aree interessate dai lavori per un ampio intorno della strada, sia in termini più generali, un minore impatto indiretto grazie al minore prelievo di risorse naturali [20].

La possibilità di utilizzare i residuati metallurgici veniva inizialmente verificata tramite una serie di indagini di campionamento e di caratterizzazione chimica, fisica e meccanica degli ammassi, e successivamente con uno studio finalizzato alla messa a punto della stabilizzazione delle miscele "riporto-scorie" a base di cemento tipo 325 e polvere calcarea [15].

Veniva infine individuata una procedura controllata per l'esecuzione dei lavori, comprendente le fasi di campionatura preliminare delle scorie, di posa in opera e stabilizzazione in sito, e di successiva verifica in sito.



Figura 2 – Panoramica della zona attraversata dal Peduncolo, dallo svincolo di C.na Gobba sulla Tangenziale Est verso nord

2. LE PROCEDURE SEGUITE IN CORSO LAVORI

La particolarità della lavorazione ha imposto di condurre e controllare i lavori secondo modalità operative previste già in fase di progetto, con regole apposite di capitolato speciale d'appalto.

Una prima fase ha riguardato la classificazione generale dei vari ammassi di scorie sia dal punto di vista chimico, che da quello fisico – meccanico. A tale scopo l'area di discarica è stata inizialmente suddivisa secondo un reticolo rilevato topograficamente in modo da assegnare ad ogni area unitaria i determinati valori risultanti dalle prove effettuate sulle campionature. Le campionature sono proseguite per tutta la durata dei lavori, in relazione ai volumi scavati e alla profondità di scavo dell'ammasso di scorie.

In relazione agli esiti delle prove di cessione delle scorie, e quindi al rischio di disperdere nell'ambiente le sostanze inquinanti, veniva formulato un giudizio sul possibile utilizzo dei singoli ammassi: per inciso si ricorda che il materiale non idoneo rispetto a quello indagato è risultato di circa il 15%. I controlli topografici effettuati in fase di escavazione delle scorie hanno consentito il riscontro dei volumi scavati con quelli utilizzati per i riempimenti, ad evitare comunque usi impropri o confusioni da parte delle imprese esecutrici [21].

Successivamente al positivo esito del campionamento, il materiale è stato posto in opera in strati di spessore medio di 20 cm, additivato con cemento e con polvere calcarea secondo le percentuali in peso determinate dallo studio geotecnico, rapportate al volume dello strato posto in opera, e controllando mediante pesatura l'effettivo apporto di additivo [18].

La miscelazione del cemento e della polvere calcarea è avvenuta in sito mediante miscelatrice a rullo a "piedi di capra", controllando e regolando l'umidità nelle fasi di miscelazione e rullatura secondo i valori ottimali forniti dal Laboratorio. A tale scopo è stato effettuato un campo prove che ha consentito di tarare la durata della lavorazione di miscelazione e il numero di passaggi del rullo atti ad ottenere i previsti requisiti di densità e di modulo di deformazione.

Per il controllo del costipamento sono state eseguite prove di carico su piastra e di densità in sito, con incidenza di una campagna di prove ogni 500 mq circa di materiale steso e compattato, considerando significativi spessori di strati variabili da 1,5 a 3,0 m: i valori di modulo ottenuti sono stati generalmente superiori a 25 N/mm^2 (mediamente $40 - 50 \text{ N/mm}^2$). In assenza del raggiungimento del valore limite si procedeva alla bonifica e alla ristabilizzazione della zona critica [17].

Altri test di eluizione sono stati effettuati su campioni di materiale posto in opera e prelevati in profondità mediante carotaggio, finalizzati ad escludere la presenza di inquinanti nei materiali reimpiegati [1].

Una ulteriore modalità realizzativa adottata per la protezione della falda a giorno sul fondo cava, e per la creazione di un piano di appoggio sufficientemente resistente, è consistita nell'utilizzo di ciottolame di scarto cava di grosse dimensioni per il riempimento delle aree sotto falda, e nella successiva posa di uno strato tampone di materiale limo – argilloso dello spessore di 1 m e con permeabilità $K \approx 10^{-6} \text{ cm/s}$, fino a raggiungere un franco di + 2 m rispetto alla quota della prevedibile massima escursione della falda [4].

Il tampone confinava con canalette esterne di controllo nelle quali confluivano le acque meteoriche e di infiltrazione, che non hanno mai dato significativi risultati di contaminazione delle acque di infiltrazione.



Figura 3 – Panoramica della zona di livellamento durante la lavorazione.

2.1 I controlli chimico analitici

L'obiettivo perseguito con i controlli analitici è consistito nella verifica sperimentale della possibilità di impiego delle scorie di acciaieria, in relazione al contenuto di sostanze inquinanti, e in riferimento alle normative nazionali e regionali vigenti in materia.

In particolare sono state eseguite sia prove sul tal quale sia test di eluizione, determinando la concentrazione di Cu, As, Cd, CrVI, Pb, Se, Hg, fenoli, idrocarburi policiclici aromatici, BOD5, N totale, NH4+, COD [5].

I controlli sono stati eseguiti sia durante la fase di studio preliminare, sia durante il corso dei lavori, con una incidenza di una campionatura ogni 5.000 mc (circa 200 campionature).

I controlli hanno quindi consentito di utilizzare per il sottofondo stradale solamente le scorie risultate inerti alle analisi, e di scartare quelle che presentavano concentrazioni superiori ai limiti consentiti.

3. LE INDAGINI CON CAMPIONAMENTO IN SITO

La prima fase della ricerca è consistita in una campagna preliminare d'indagine in sito, atta a caratterizzare gli ammassi di scorie, non essendo questi costituiti da materiale omogeneo. Collocato nei pressi del nuovo tratto stradale, il materiale era composto da una miscela casuale di scarti di lavorazione, da terreno di ricopertura, da scorie più o meno vecchie derivanti dai processi metallurgici.

Sono stati eseguiti, con tale obiettivo, alcuni sondaggi a profondità comprese tra i 15 m e i 22 m, per uno sviluppo complessivo di circa 200 m per ogni ammasso distinto. I sondaggi hanno evidenziato come gli ammassi fossero composti mediamente per il 43 % da riporto (ghiaia, sabbia più o meno limosa, frammenti di laterizi, calcestruzzo, vetro, frammenti di metallo e plastica, materie organiche) e per il 57 % da scorie (Tab. 1), dove con A si indica il terreno naturale e con B le provenienze d'attività metallurgiche [14].

Descrizione	Composizione	Sviluppo sondaggio [m]	Incidenza percentuale	Incidenza riporto in %		Incidenza scorie in %	
				min	max	min	max
Riporto	A > 95%	6,00	4,72	4,49	4,72	0,00	0,24
Riporto con rare scorie	75% < A < 95%	17,00	13,39	10,04	12,72	0,67	3,35
Riporto con scorie	50% < A < 75%	17,00	13,39	6,69	10,04	3,35	6,69
Riporto e scorie	A = B = 50%	16,40	12,91	6,46	6,46	6,46	6,46
Scorie con riporto	50% < B < 75%	32,50	25,59	6,40	12,80	12,80	19,19
Scorie con raro riporto	75% < B < 95%	15,30	12,05	0,60	3,01	9,04	11,44
Scorie	B > 95%	22,80	17,95	0,00	0,90	17,06	17,95
Valori medi		127,00	100,00	34,68	50,65	49,38	65,33

Tabella 1 – Composizione media dei campioni prelevati durante i sondaggi

Le scorie si presentavano come una miscela di colore grigio-nero, ghiaiosa-sabbiosa (da un punto di vista granulometrico), con diametro compreso tra i pochi millimetri e i 5 cm e con struttura vetrosa da mediamente vacuolare a vacuolare [7] [8].

La curva granulometrica media della miscela riporto-scorie è stata determinata attraverso l'analisi granulometrica (Tab. 2 e Fig. 4) [11].

Setacci [mm]	Riporto - Scorie [%]	Capit. Min [%pass.]	Capit. Max [%pass.]
76,20	100	100	100
50,80	100	85	100
25,40	80	70	95
9,52	46	30	70
4,76	35	23	55
2,00	22	15	40
0,42	8	8	25
0,18	3	5	20
0,074	2	2	15

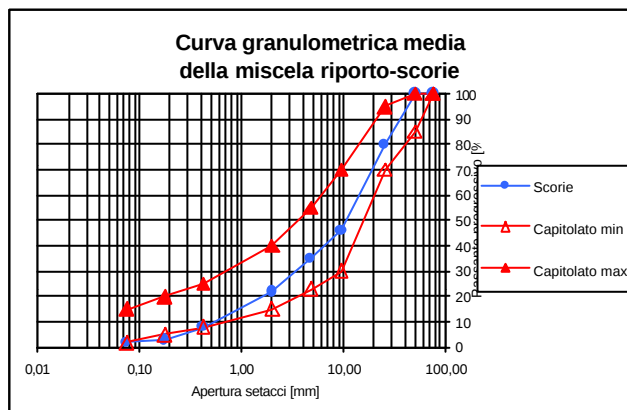


Tabella 2 – Confronto tra la curva granulometrica riporto-scorie e il fuso di capitolato

Figura 4 – Confronto grafico tra la curva granulometrica riporto-scorie e il fuso di capitolato

Ulteriori prove hanno permesso di evidenziare le seguenti caratteristiche intrinseche della miscela:

- elevata eterogeneità degli aggregati dal punto di vista fisico-chimico;

- elevata fragilità delle scorie metallurgiche (già comunque rilevata in cantiere tramite delle prove preliminari di compattazione eseguite con un rullo medio-leggero);
- difficile stabilizzazione a causa:
 - della bassa percentuale di passante al setaccio ASTM 200 e delle frazioni sabbiose (mancanza che non permette d’ottenere una corretta curva granulometrica);
 - del basso coefficiente di attività del filler, il quale deriva quasi esclusivamente dalla frantumazione delle scorie vetroso-ferrose che non presentano adeguate caratteristiche chimiche e fisico-meccaniche;
 - della variazione delle dimensioni degli elementi nel tempo e, quindi, del rapporto tra le varie classi granulometriche, a causa della fragilità delle scorie stesse.

4. LA STABILIZZAZIONE DELLE SCORIE

La necessaria correzione granulometrica si è eseguita con impiego di filler. Questo intervento ha anche permesso la realizzazione dell’adeguata “struttura” a base di legante cementizio per il raggiungimento delle appropriate caratteristiche chimiche e fisico-meccaniche.

Gli additivi stabilizzanti analizzati a tale scopo sono stati due: cemento tipo 325 e *polvere calcarea* [16]. Quest’ultima, anch’essa scarto di produzione, derivava dalla lavorazione delle pietre da costruzione (la polvere di marmo analizzata era un rifiuto delle lavorazioni industriali delle pietre da taglio). A differenza del cemento che è l’additivo tradizionalmente utilizzato, la polvere calcarea rappresenta un prodotto “innovativo”. Caratteristica fondamentale di tale polvere è la presenza di carbonato di calcio, il quale permette d’ottenere miscele con elevata densità e facilmente costipabili anche in cantiere.

Si sono rese necessarie, anche in questo caso, delle prove di caratterizzazione del filler stoccato stoccato in cumuli presso il cantiere stesso. Le prove hanno evidenziato come il materiale, di colore bianco-beige, può essere assimilato, da un punto di vista granulometrico, ad una sabbia di frantumazione con granuli poliedrici (Tab. 3 e Fig. 5).

Setacci [mm]	Polvere calcarea [% pass.]
76,20	---
50,80	---
25,40	---
9,52	---
4,76	---
2,00	100
0,42	44
0,18	26
0,074	19

Tabella 3 – Curva granulometrica della polvere calcarea

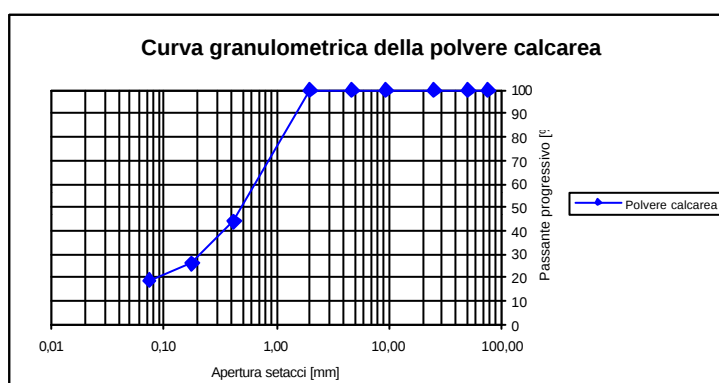


Figura 5 - Rappresentazione grafica della curva granulometrica della polvere calcarea

Le analisi chimiche, compiute invece su campioni prelevati direttamente dalle cave del bresciano, hanno rilevato come la polvere sia un calcare abbastanza puro, con

percentuali di calcite (CaCO_3) pari a 99.5 %, sul peso della roccia. Anche l'analisi diffrattometrica ai raggi X ha confermato l'elevata presenza di picchi di calcite. La percentuale di calce viva calcitica (CaO) contenuta nella calcite risulta essere mediamente pari al 55.1 %. Il residuo insolubile, composto dai minerali silicati non solubili in HCl (quarzo, feldspati, ecc.), è presente solo in tracce.

La composizione chimica media della polvere è la seguente:

CaO	55,10 %
MgO	0,50 %
FeO	0,03 %
CO	43,68 %
Res.Ins.	0,19 %
<i>Totale CaCO_3</i>	<i>99.50 %</i>

La miscela scorie-riporto presente in cantiere, per praticità, è stata suddivisa in tre "miscele tipo" di riferimento con caratteristiche di omogeneità sia per granulometria sia per composizione. Esse presentavano anche il vantaggio di essere riconoscibili semplicemente a vista. Per ogni miscela tipo è stata appositamente studiata la quantità e il tipo di filler d'aggiungere (Tab. 4).

Miscela tipo	Composizione (A = riporto; B = scorie)	Filler*	
		% cemento	% CaCO_3
1	75% < A < 100% 0% < B < 25%	5	---
2	25% < A < 75% 25% < B < 75%	2.5	2.5
3	0% < A < 25% 75% < B < 100%	---	5

* percentuali sul peso degli inerti

Tabella 4 - Composizione delle "tre miscele tipo" e relative percentuali di cemento e/o polvere calcarea per una corretta stabilizzazione

Le classiche analisi di laboratorio effettuate sulle tre differenti miscele hanno messo in evidenza i seguenti valori medi caratteristici:

- la densità secca massima (ottenuta con la prova di costipamento AASHO modificata) [9] è compresa tra 1.93 e 2.07 kg/dm^3 e la relativa umidità ottima varia tra il 12 % e il 16 %;
- l'indice CBR [13] dopo imbibizione ha valori compresi tra il 45 % e il 67 %;
- il rigonfiamento per imbibizione è risultato praticamente nullo (il valore massimo di incremento volumetrico ottenuto corrisponde a 0.8 %).

Una delle prove più importanti svolte sulla miscela riporto-scorie è quella di cessione che, anche a livello idrochimico, ha confermato l'idoneità delle miscele, vista l'assenza di sostanze inquinanti nell'eluato; infatti, la presenza di eventuali sostanze tossiche e/o contaminanti avrebbero pregiudicato l'utilizzo del materiale stesso.

Per verificare la capacità portante della miscela scorie -riporto stese in sito, si sono eseguite prove di carico con piastra [10], eseguite in sito su spessori di 3.00 m costipati a strati di 30-40 cm; esse hanno mostrato un modulo di deformazione compreso tra i 32 N/mm² e i 39 N/mm².

5. IL MONITORAGGIO DEL RILEVATO

Con lo scopo di controllare in modo costante e continuo la stabilità e l'affidabilità del rilevato si è proceduto al suo monitoraggio attraverso l'analisi dei cedimenti assoluti e relativi.

Le quattro stazioni di riferimento sono state posizionate alla base del rilevato in modo da poter osservare i maggiori cedimenti riscontrabili con l'ausilio di stazione topografica fissa e mire di riferimento.

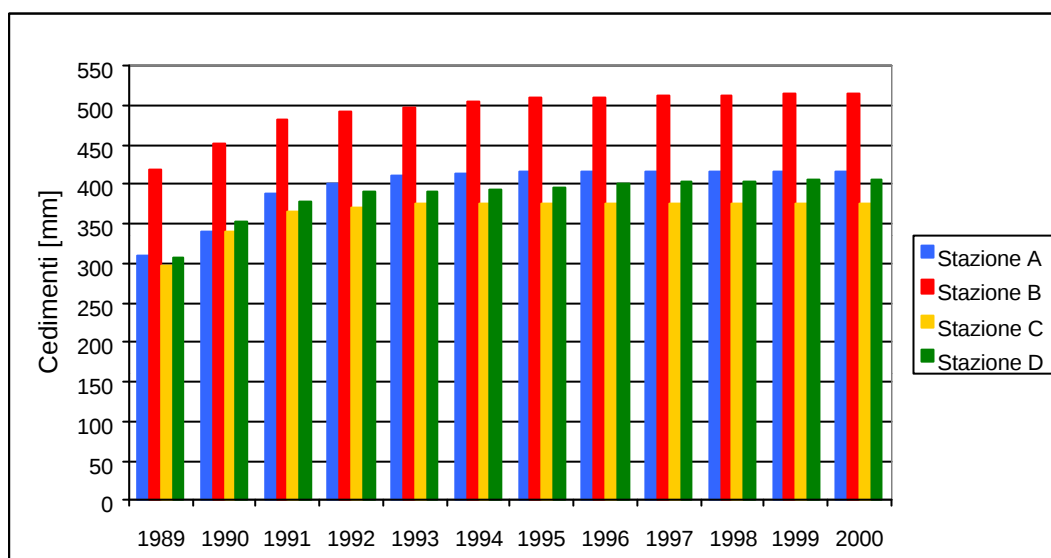


Figura 6 – Cedimenti assoluti e relativi del rilevato nel corso degli anni

Come si evince dal grafico (Fig. 6) i cedimenti assoluti nell'anno 1989 avevano valori compresi tra 29.8 cm e 42.0 cm, ma già dopo tre anni si è potuto asserire che il rilevato era praticamente stabile con cedimenti praticamente esauriti [14]. La stabilità del rilevato, inoltre, non ha risentito dell'aumento di livello della falda acquifera (comunque previsto in fase di progettazione) che ha imbibito per 8 m l'ammasso stesso, così come dell'apertura al traffico nel 1994 (già allora di 50.000 veicoli al giorno) con percentuali di traffico pesante maggiori del 30 %.

6. NUOVA NORMATIVA DI RIFERIMENTO

La ricerca svolta dal Laboratorio Sperimentale Stradale del Politecnico di Milano per la realizzazione del Peduncolo rappresentava sicuramente per quell'epoca, una procedura innovativa; infatti il riciclaggio in quel tempo era sottovalutato per la agevole disponibilità di inerti naturali.

Non esistendo una specifica normativa per i materiali riciclabili, la ricerca fu sviluppata in base alle norme vigenti inerenti sia la realizzazione di rilevati sia soprattutto la tutela ambientale dagli inquinanti.

La recente norma proposta da UNI “Aggregati provenienti dalle attività di demolizione e costruzione e dalle loro miscele con rifiuti minerali recuperabili – Requisiti d'accettazione” stabilisce le procedure per verificare l'idoneità di materiali riciclati provenienti dall'attività di costruzione e demolizione, eventualmente miscelati con altri rifiuti, o minerali non pericolosi, ammessi per la costruzione in campo stradale. Essa prevede il riutilizzo di miscele di aggregati costituiti da frammenti di laterizi, murature, intonaci, conglomerati cementizi, sovrastrutture ferroviarie e stradali, materiali lapidei provenienti da cave autorizzate o da attività di taglio e lavorazione.

Risulta interessante, a questo punto, il confronto tra le procedure utilizzate per la realizzazione del rilevato della tangenziale e quelle previste dall'attuale progetto di norma.

Una prima discrepanza consiste proprio nel tipo di materiale utilizzato: in prevalenza scorie prodotte dalla lavorazione metallurgica, miscelate con ghiaia, sabbia più o meno limosa, frammenti di laterizi, calcestruzzo, vetro, frammenti di metallo e plastica, materie organiche. Viceversa, risulta pienamente concorde alla normativa, l'utilizzo della polvere calcarea come additivo derivante dalla lavorazione delle pietre da costruzione.

Come previsto anche dall'UNI il materiale riciclato, sia scorie sia polvere calcarea, stoccato in cumuli di forma conica, è stato correttamente campionato in base alla norma CNR 25/1972 [8], procedura che ha permesso d'individuare la granulometria media di entrambi i materiali e le tre miscele di base presenti per il riporto-scorie.

In base alla normativa proposta da UNI il materiale utilizzabile per rilevati deve risultare conforme alle caratteristiche richieste dalla norma CNR UNI 10006 [11] e, inoltre, durante la fase di certificazione deve essere separato visivamente sul trattenuto al setaccio 4 mm nelle varie componenti (materiali litici, vetro e scorie vetrose, conglomerati bituminosi, materiali plastici...), in modo da verificare che la percentuale in massa di tali parti non superi quella prescritta. Si fa notare che questa ultima operazione non è stata eseguita per il riporto-scorie, ma si è semplicemente verificata l'idoneità dell'insieme tramite le prove AASHO modificata [9], le prove di portanza CBR [13] e la prova di cessione, realizzate in laboratorio, e le prove di carico con piastra eseguite in sito.

Inoltre, affinché il materiale risulti idoneo per la messa in opera, è attualmente richiesta l'uniformità delle percentuali di passante ai vari setacci (definita “costanza granulare”): si rammenta che per le scorie si è fatto ricorso alla determinazione di tre miscele tipo che, oltre ad avere una determinata composizione in percentuale delle varie tipologie di materiale, presentavano anche una certa composizione granulometrica. Per di più per ogni miscela è stata precisata la relativa percentuale di additivo.

Infine, la norma odierna specifica che, per poter garantire l'adeguata qualità del prodotto finale, è necessaria una corretta miscelazione delle varie parti; nel caso del Peduncolo si è infatti fatto ricorso ad una miscelatrice a rullo per la fase d'additivazione.

7. CONCLUSIONI

La realizzazione del 1° lotto del Peduncolo ha consentito il recupero ambientale e paesaggistico di circa 20 ettari di aree degradate da pregressa attività industriale, sia attraverso la colmata delle cave interessate dal tracciato che attraverso la rimozione dei cumuli di scorie reimpiegate per i lavori di riempimento. Inoltre l'utilizzo delle scorie,

anziché di inerti provenienti da cava di prestito ha consentito un notevole risparmio di risorse naturali.

L'intervento è stato reso possibile attraverso analisi di laboratorio finalizzate alla catalogazione del materiale in termini di potenziale inquinamento e di caratteristiche chimico-fisiche-meccaniche, e attraverso la definizione di una procedura operativa che ha individuato in modo univoco le modalità di lavorazione e di controllo.

In particolare, la ricerca eseguita presso il Laboratorio Sperimentale Stradale del Politecnico di Milano sulla stabilizzazione degli scarti metallurgici, ha reso possibile il corretto reimpiego dei materiali per la costruzione di alti rilevati stradali. Un ulteriore obiettivo raggiunto riguarda il riutilizzo come additivo di rilevanti quantitativi di polvere calcarea derivanti dalla lavorazione di pietre da taglio, altrimenti collocate in discariche (l'impiego di un rifiuto ha in sostanza consentito il miglioramento, dal punto di vista fisico-chimico, di un altro materiale di scarto).

Fattore non meno importante da sottolineare è il contenimento dei costi complessivi d'intervento, soprattutto se si considera che attualmente il tratto autostradale della Tangenziale Est di Milano presenta caratteristiche comportamentali non inferiori rispetto a quelle di infrastrutture realizzate con materiali tradizionali.

Si tratta anche di una significativa anticipazione di natura prestazionale, resa peraltro cogente da una situazione del tutto particolare, che ha trovato riscontro autoritativo da parte della Regione Lombardia. Riteniamo importante rimarcare come la recente proposta UNI di norma specifica consentirebbe, con lievi e non sostanziali modifiche, di reiterare oggi il medesimo lavoro in un ambito dispositivo consolidato, e non specificamente eccezionale come l'esempio qui descritto.

Ogni nuova norma nasce dall'acquisizione sistemica di esperienze rigorosamente analizzate: quanto qui illustrato intende appunto portare tale contributo.

8. BIBLIOGRAFIA

- [1] **ASTM D2940-75**, *Standard specification for graded aggregate material for bases or sub-bases for highways or airport*, American Society for Testing materials, Philadelphia, 1985.
- [2] **BS 3892 Part 1**, *Specification for pulverised fuel ash for use as a cementitious component of structural concrete*. British Standards Institution, London, 1983b.
- [3] **BS 3892 Part 2**, *Specification for pulverised fuel ash for use in grouting and for miscellaneous uses in concrete*. British Standards Institution, London, 1984.
- [4] **BS 1377 Part 3**, *Methods of tests for soils for civil engineering purposes: chemical tests*. British Standards Institution, London, 1990.
- [5] **CEN**, *Test for chemical properties of aggregates. Part 1: chemical analysis*. Draft European Standard, CEN Technical Committee TC 154, Document EN 1744-1, 1994.
- [6] **CNR B.U. n°8**, *Norme sui materiali stradali - Prova di costipamento di una terra*, 1967.
- [7] **CNR B.U. n°23**, *Analisi granulometrica di una terra*, 1971.
- [8] **CNR B.U. n°25**, *Campionatura di terre e terreni*, 1972.
- [9] **CNR B.U. n°23**, *Prove di costipamento di una terra*, 1978.
- [10] **CNR B.U. n°146**, *Determinazione dei moduli di deformazione M_d e M_d' mediante prova di carico a doppio ciclo con piastra circolare*, 1992.
- [11] **CNR-UNI 10006**, *Costruzione e manutenzione delle strade - Tecnica di impiego delle terre*, Maggio 1963.

- [12] **CNR-UNI 10014**, *Prove sulle terre - Determinazione dei limiti di consistenza (o di Atterberg) di una terra*, Dicembre 1964.
- [13] **CNR-UNI 10009**, *Prove sui materiali stradali -Indice di portanza CBR di una terra*, Luglio 1964.
- [14] **Da Rios G., Mussone L., Baglioni L.**, *La stabilizzazione di scorie da acciaieria per la formazione di alti rilevati stradali*, Quaderni Tecnico-Scientifici del Laboratorio Stradale del Dipartimento di Sistemi di Trasporto e Movimentazione del Politecnico di Milano, 1997
- [15] **Franklin R.E., Bibbs W., Sherwood P.T.**, *The use of pulverised fuel ash in lean concrete. Part 1 – laboratory studies*. Transport and Road Research Laboratory, Crowthorne, UK, Supplementari Report SR 736, 1982.
- [16] **Gaspar L.**, *Les cedres volant et le laitier granulé en construction routère*. Bulletin de Liaison, 86, 135-143, 1976.
- [17] **Harding H.M., Potter J.F.**, *The use of pulverised fuel ash in lean concrete. Part 2 – pilot-scale trials* Transport and Road Research Laboratory, Crowthorne, UK, Supplementari Report SR 838, 1985.
- [18] **NITRR**, *Cementitious stabilizers in construction*. National Institute for Transport and Road Research, CSIR, South Africa, TRH 13, 1986.
- [19] **Sherwood P.T., Ryley M.D.**, *The use of stabilized pulverizrd fuel ash in road construction*, Road Research Laboratory, Crowthorne, UK, Report LR 49, 1966.
- [20] **Sweere G.T.H.**, *Re-use of demolition waste in road construction. Unbound aggregates in construction*, Nottingham, 1991.
- [21] **Tubey L.W.**, *The use of waste and low-grade materials in road construction – 5. China claysand*. Transport and Road Research Laboratory, Crowthorne, UK, Supplementari Report LR 819, 1978.
- [22] *Survey of derelict land in England 1988*, Department Of The Environment, HMSO, London, 1991a.