

SITEBSi srl

Rassegna del bitume

RIVISTA DEL SITEB-ASSOCIAZIONE ITALIANA BITUME ASFALTO STRADE

ESTRATTO DAL N° **51/05**

Interventi di riciclaggio a freddo in Provincia di Cremona

Cold recycling in the Provincia of Cremona

Rebecchi Cristiano

Capo servizio tecnico manutenzione strade, Provincia di Cremona

Interventi di riciclaggio a freddo in Provincia di Cremona

Cold recycling in the Provincia of Cremona



CRISTIANO REBECCHI

Capo servizio tecnico manutenzione strade, Provincia di Cremona

Riassunto

Le pavimentazioni stradali flessibili, nel corso della loro vita utile, si ammalorano a causa delle azioni del traffico, dei fattori climatici (umidità, ripetute variazioni di temperatura, radiazioni ultraviolette), di difetti di progettazione delle miscele e di errori di stesa. Per ripristinare l'integrità di queste strutture, al fine di garantire un adeguato livello di resistenza strutturale, comfort e sicurezza, occorre mettere in atto interventi di manutenzione che, possono comprendere la rimozione degli strati degradati mediante fresatura, con il conseguente accumulo di materiale bituminoso di risulta.

La successiva destinazione d'uso del fresato, costituito da materiali pregiati (aggregati lapidei e legante bituminoso), è alla base di una scelta di riciclaggio. L'opzione di messa in discarica, caratterizzata da elevati costi economici nonché ambientali, viene oggi spesso scartata a vantaggio di tecniche che riutilizzino tale materiale nella nuova pavimentazione.

Il "rifiuto" diventa così una preziosa risorsa da reinserire efficacemente nel processo produttivo.

L'articolo riporta l'esperienza della Provincia di Cremona.

Summary

During their life-cycle, road flexible pavements are damaged by traffic action, weather conditions (humidity, temperature variations, ultraviolet radiations), defects on mix projects and mistakes during the laying operations.

To restore the integrity of these structures, in order to guarantee a good structural resistance level, comfort and safety, it is necessary to carry out maintenance interventions that consider the removal of damaged layers through milling activity, with a consequent banks of bituminous material.

The successive destination of milled material, constituted by valuable materials (stone aggregates, bituminous binder) is the base of the recycling choice. The option to discharge this material, with elevate economic and environmental costs, is very often refused to prefer those techniques that reuse this material in the new pavement. The milled material becomes in this way a precious source to be reused very efficiently in the production process.

The paper reports the experience of the Provincia of Cremona.

1. Le alternative alla discarica

Quando gli ammaloramenti delle pavimentazioni bituminose sono, in modo manifesto, dovuti a problemi di portanza del pacchetto, la soluzione più semplice, da

sempre proposta dai tecnici del settore per ripristinare la vita utile di una strada, è quella della scarifica dell'intera sovrastruttura stradale e relativa sostituzione con nuovi strati di base in misto bitumato, binder e manto d'usura di spessori adeguati alla tipologia della strada in esame. ►

Questa tipologia di intervento presenta alcuni svantaggi:

- ▶ costi elevati e lavorazioni evitabili in quanto si esegue la sostituzione radicale di tutto il nastro bitumato, anche se spesso i cedimenti dovuti ai carichi sono localizzati nelle zone della pavimentazione ove transita il traffico (in prossimità delle linee centrali e di bordo), mentre circa il 50 % del piano viabile si trova in condizioni accettabili.
- ▶ produzione di notevoli quantità di materiale di risulta (fresato) di non facile reimpiego;

Quando il manto presenta fessurazioni ramificate passanti, fessurazioni a blocchi o a pelle di cocodrillo, che sottintendono quindi problemi di portanza, la Provincia di Cremona rispetto al rifacimento totale della sovrastruttura stradale preferisce agire come segue:

- ▶ parziale fresatura del pacchetto, posa di strato alveolare antirichiamo lesioni con bitume adeguatamente modificato con elastomeri (PEN 60-80, PA 75-85, Frass <-15), previa eventuale sigillatura delle fessure residue di larghezza maggiore di 6 mm;
- ▶ strato portante costituito da misto bitumato ad alto modulo con utilizzo di bitume a media modifica di elastomeri (PEN 50-70, PA 60-70, Frass <-13);
- ▶ finitura superficiale con manti d'usura (migliorati) ad alto modulo con utilizzo di inerti pregiati (LA <18, CLA >0,42) e bitume ad elevata modifica di elastomeri.



Fig. 1 Ammaloramenti sulla circonvallazione sud di Crema

In alternativa:

- ▶ manti d'usura tipo *antiskid* con utilizzo di inerti di qualità ancora più pregiata (LA <17, CLA >0,45) e bitume ad elevata modifica di elastomeri; tale intervento, oltre a ridurre la fresatura, può essere mirato anche a porzioni del piano viabile, coinvolgendo tutta la carreggiata solamente per quanto riguarda il rifacimento del manto d'usura;
- ▶ intervento di riciclaggio a freddo con utilizzo di emulsione modificata o di bitume schiumato e cemento.

2. L'esperienza della Provincia di Cremona

L'intervento in esame è relativo a lavori di manutenzione straordinaria e ripristino completo della circonvallazione sud di Crema (S.P.CR ex S.S. n° 415) (Fig. 1). Il tratto in esame è caratterizzato da intenso traffico, sia di veicoli leggeri sia pesanti, in quanto dall'arteria principale, collegamento preferenziale tra Cremona e Milano, si snodano, a mezzo di intersezioni a livelli sfalsati, alcune importanti diramazioni verso Piacenza, Lodi e Brescia.

La sovrastruttura stradale manifestava irregolarità della pavimentazione con notevoli ondulazioni sia longitudinali che trasversali, sfondamenti localizzati e depressioni con fessurazioni ramificate. La sconfigurazione del piano viabile era dovuta in larga parte agli



assestamenti del rilevato stradale che si sono susseguiti nel tempo.

Il corpo stradale, costruito oltre 20 anni fa, con materiali di recupero d'altoforno, creava problemi sin dall'apertura al traffico della strada, sotto le ingenti sollecitazioni del traffico presente.

Allo stato attuale si può stimare assolutamente esaurito l'assestamento del rilevato, mentre è ancora in essere quello della sovrastante fondazione in misto granulare. Il corpo stradale infatti, a causa del materiale grossolano da cui è formato, presentava un'enorme percentuale di vuoti, i quali venivano progressivamente ed inevitabilmente riempiti dalla parte fine della fondazione slegata sia sotto l'effetto vibrante dovuto al passaggio dei mezzi pesanti sia per dilavamento dell'acqua piovana che si infiltrava dalle fessurazioni del piano viabile.

Si è reso pertanto necessario un intervento che andasse a risagomare la sovrastruttura stradale e che nel contempo la rendesse completamente legata ed impermeabile per bloccare il fenomeno di svuotamento della fondazione granulare.

In sintesi, le situazioni particolari che hanno interessato questo tronco possono essere così riassunte:

- ▶ fessurazioni profonde e sfondamento di un pacchetto bituminoso di spessore superiore ai 20 cm;
- ▶ ondulazioni longitudinali molto pronunciate dovute al (precedente) rigonfiamento delle scorie d'altoforno;
- ▶ strato di fondazione in misto granulare di circa 20 cm di spessore in continuo assestamento.

Da ciò ne derivava:

- ▶ obbligatorietà di movimentare, qualunque fosse l'intervento di ripristino, una notevolissima quantità di materiale (circa 40.000 m³);
- ▶ costi e problemi di smaltimento altissimi qualora tale materiale fosse divenuto di risulta.

3. La scelta del riciclaggio

Il problema principale era quello di bloccare gli assestamenti continui della sovrastruttura e, nel contempo, di riuscire a risagomare il piano viabile ripristinando le livellette, sia longitudinali che trasversali.

Si è optato per un intervento che permettesse di lega-

re completamente tutti gli strati poggianti sul corpo stradale, di recuperare il più possibile i materiali in sito e di formare un pacchetto stradale ad elevata portanza in campo elastico e regolarità.

L'intervento di riciclaggio era l'unico in grado di risolvere contemporaneamente tutti i problemi sopra evidenziati: oltre che a risagomare il piano viabile, si è riusciti infatti ad inglobare la fondazione nel trattamento, rendendo l'intera sovrastruttura completamente legata in appoggio sul rilevato costituito dalle scorie. Presumendo che a più di 20 anni dalla costruzione, i materiali presenti nel corpo stradale saranno completamente assestati, l'intervento eseguito potrà allungare la vita utile della pavimentazione di almeno 10 anni. Le fasi di lavoro sono state le seguenti (Fig. 2):

- ▶ asportazione della sovrastruttura stradale esistente (spessore medio 3 cm) a mezzo di scarificatrice a freddo per livellamento iniziale dei tratti con maggiore sconfigurazione longitudinale, con successivo riutilizzo di parte del materiale slegato di recupero per ricarica delle banchine laterali erbose non transitabili (larghezza 1 m) al fine di ottenere uno spessore finale compreso delle banchine di 7 cm maggiore rispetto al ciglio bitumato esistente prima della fresatura (+10 cm rispetto al piano fresato);
- ▶ riciclaggio a freddo con utilizzo di bitume schiumato ovvero emulsione bituminosa modificata con elastomeri del rimanente pacchetto bituminoso esistente e di una parte della fondazione stradale in misto granu-



Fig. 2 Fase lavorativa

lare (spessore medio 30 cm) secondo lo studio di ottimizzazione di progetto (vedi paragrafo 3); i lotti di intervento per ammodernare l'intera arteria sono stati 3; nel primo è stato utilizzato bitume schiumato, nel secondo e terzo emulsione modificata.

Successivamente:

- fornitura e posa di misto bitumato ad alto modulo complesso con l'utilizzo di bitume modificato a media modifica di elastomeri per lo spessore medio "soffice" di 5 cm;
- fornitura e posa di manto d'usura *antiskid* con l'utilizzo di bitume modificato ad elevata modifica di elastomeri per lo spessore minimo "compresso" di 3 cm.

La carreggiata stradale è stata pertanto rinnovata con materiali bituminosi pregiati e idonei a sostenere l'ingente traffico, sia dal punto di vista della portanza sia della rugosità superficiale (con conseguente miglioramento dell'aderenza).

L'intervento di risagomatura e consolidamento previsto ha coinvolto l'intero pacchetto di sovrastruttura stradale (strati bituminosi e sottostante fondazione in misto granulare) a mezzo di rigenerazione in sito a freddo realizzata con idonee attrezzature mobili (con miscelatore a volume variabile) in grado di miscelare l'intero pacchetto bituminoso esistente e parte della fondazione sottostante non legata con l'aggiunta di bitume schiumato ovvero emulsione modificata, cemento e acqua, omogeneizzare, stendere e compattare la miscela per spessori sino a 30 cm.

Nel caso di utilizzo di bitume schiumato la "schiuma" viene prodotta dalla reazione meccanica che avviene nel bitume a 180 °C quando viene in contatto con acqua in pressione. Il processo si realizza all'interno di una particolare camera di espansione.

Utilizzando emulsione invece, si preferisce una emulsione modificata a rottura controllata, di tipo acido, al 60% di bitume residuo con aggiunta di elastomeri.

Per eseguire questo tipo di lavorazione è necessario conoscere le caratteristiche granulometriche del materiale bituminoso fresato e di quello slegato sottostante, la percentuale di bitume all'interno dell'intero strato legato, gli spessori della sovrastruttura stradale legata e non legata; questi dati dovevano essere noti per tutto il tratto oggetto del ripristino, adottando valutazioni medie per le zone che presentavano caratteristiche leggermente differenti.

4. Studio preliminare di ottimizzazione

Le percentuali di cemento, acqua e bitume schiumato ovvero emulsione bituminosa elastomerizzata ottimali sono state stabilite in base alle prove di laboratorio eseguite preliminarmente a cura della Provincia di Cremona, di seguito esposta.

4.1 Indagini conoscitive dei tronchi stradali oggetto di intervento

Premesso che i carotaggi e gli "assaggi" a bordo bitumato risultano necessari per l'interpretazione delle tipologie di ammaloramento e permettono l'eventuale campionamento di tutti i materiali esistenti, a volte per tratti stradali impegnativi e particolarmente trafficati vengono effettuate indagini più approfondite con supporto di ditte esterne per verificarne l'effettivo grado di portanza e definire in modo mirato l'estensione e le caratteristiche degli interventi di manutenzione e rinforzo atti a restituire alle pavimentazioni flessibili la loro vita utile.

Nel caso in esame la conoscenza approfondita dei parametri in gioco è stato un punto cardine di progettazione, pertanto assolutamente non trascurabile.

Lo studio di ottimizzazione per la scelta delle percentuali ottimali di bitume o emulsione e cemento, è stato particolare in quanto i parametri imposti in sito erano vari (curva granulometrica del pacchetto esistente fresato, curva granulometrica del misto granulare, percentuale di bitume nel pacchetto esistente).

L'analisi geologica dei materiali è stata eseguita da un laboratorio esterno in collaborazione con i tecnici ed il personale della viabilità della Provincia nell'anno 2003 a mezzo di campionamenti di materiale fresato e misto granulare di fondazione ovvero assaggi a carotaggio dell'intero pacchetto bituminoso presente e successive analisi granulometriche e calcolo della percentuale di bitume presente in sito (Fig. 3).

4.2 Studio di ottimizzazione con utilizzo di bitume schiumato

Una volta acquisiti tutti gli elementi di tipo geologico e geometrico in corrispondenza di varie sezioni di campionamento e dopo aver omogeneizzato e mediato i risultati, è stato eseguito a cura del laboratorio lo



Fig. 3 Carotaggi

studio di ottimizzazione per definire gli elementi di progetto (spessore strato da trattare da cui si evince la curva di progetto, % bitume schiumato, % cemento, % acqua).

Tali elementi sono stati stabiliti in base alle prove di laboratorio di seguito elencate.

Per la determinazione delle percentuali ottimali (da riferirsi al peso degli inerti) di bitume schiumato, cemento e acqua, sono stati confezionati provini tramite pressa giratoria con le seguenti condizioni di prova:

- ▶ angolo di rotazione: $1,25^{\circ} \pm 0,02$;
- ▶ velocità di rotazione: 30 rotazioni al minuto;
- ▶ pressione verticale, Kpa: 600;
- ▶ diametro provino, mm: 150;
- ▶ n° giri: 180;
- ▶ peso campione: 4500 g comprensivo di bitume, cemento e acqua.

Per l'individuazione delle caratteristiche ottimali la miscela deve rispondere ai seguenti requisiti minimi:

- ▶ resistenza a trazione diametrale R_t a 72h di maturazione $\geq 0,40$ N/mm²;
- ▶ coefficiente di trazione indiretta CTI a 72h di maturazione ≥ 60 N/mm².

Dal contenuto ottimale ottenuto su campioni maturati per 72h a 40 °C si deve inoltre ricavare la densità geometrica di riferimento per il controllo in sito a 180 giri.

Dalle prove con pressa giratoria effettuate su varie formelle con percentuali di bitume, acqua e cemento differenti, sono stati ottenuti i seguenti risultati, ai quali l'Impresa aggiudicataria dell'appalto del primo lotto ha dovuto attenersi nell'esecuzione dei lavori, in quanto ha utilizzato, per la rigenerazione, bitume schiumato:

1. spessore di sovrastruttura stradale da trattare: 30 cm previa fresatura iniziale di 3 cm in media di tappeto esistente;
2. percentuale di aggiunta di bitume schiumato: 2%;
3. percentuale di aggiunta di cemento: 1,5 %;
4. umidità del materiale: 5%;
5. densità geometrica su campioni maturati per 72h a 40° C a 180 giri: tra 2350 e 2450 Kg/m³.

4.3 Studio di ottimizzazione con utilizzo di emulsione modificata

Dalle prove effettuate, eseguite con le stesse modalità e rispettando gli stessi parametri rispetto al precedente studio, sono stati ottenuti i seguenti risultati, ai quali le Imprese aggiudicatarie del secondo e terzo lotto hanno dovuto attenersi nell'esecuzione dei lavori, in quanto hanno scelto di utilizzare, per la rigenerazione, emulsione modificata:

1. spessore di sovrastruttura stradale da trattare: 30 cm previa fresatura iniziale di 3 cm in media di tappeto esistente;
2. percentuale di aggiunta di emulsione modificata: 3%;
3. percentuale di aggiunta di cemento: 2%;
4. umidità del materiale: 5%;
5. densità geometrica su campioni maturati per 72h a 40 °C a 180 giri: tra 2340 e 2375 Kg/m³.

5. Bitume schiumato o emulsione bituminosa modificata?

Come esplicitato nel paragrafo precedente, lo studio di ottimizzazione della miscela con il metodo della pressa giratoria è stato eseguito dalla Provincia di Cremona in collaborazione con un laboratorio di fiducia, sia con bitume schiumato sia con emulsione elastomerizzata. Dopo aver eseguito il primo lotto di lavori utilizzando bitume schiumato ed il secondo lotto utilizzando

emulsione, è stato scelto di inserire nel progetto esecutivo del terzo lotto entrambe le opzioni.

A propria discrezione l'Impresa aggiudicataria del terzo lotto ha scelto l'emulsione come legante e di conseguenza le percentuali ottime del relativo studio di ottimizzazione.

La motivazione di offrire un ambito di scelta all'impresa trova ragione nei risultati precedentemente ottenuti, molto simili applicando le due tecnologie al caso della circonvallazione di Crema.

Se si considera inoltre che i costi dei due interventi sono paragonabili, sembra lecito dare la possibilità di operare ad imprese del settore specializzate con l'uno o con l'altro metodo, impostando il Capitolato Speciale d'Appalto in maniera prestazionale.

Si riporta ora una tabella riepilogativa dei risultati ottenuti dai due studi con le percentuali ottime, a confronto con i risultati in opera del lotto realizzato nel 2004 con utilizzo di emulsione modificata.

Si aggiungono in calce i risultati in opera del primo lotto realizzato nel 2003 con utilizzo di bitume schiumato. Tali valori, pur minori di quelli con emulsione, sono accettabili rispetto ai minimi richiesti in capitolato.

I valori del terzo lotto, i cui lavori sono stati ultimati da pochissimo tempo, non sono ancora del tutto disponibili; i primi risultati sono comunque in linea con quelli del 2004.

I risultati dei due studi di ottimizzazione sono simili, inoltre i risultati in opera con utilizzo di emulsione modificata si avvicinano di più, per quanto riguarda il CTI, allo studio con bitume schiumato.

Per questo motivo è sembrato ragionevole lasciare una certa discrezionalità in fase di esecuzione all'impresa sulla scelta da applicare al lotto di lavori eseguito nel Luglio 2005.

	Rt (N/mm ²)	CTI (N/mm ²)	Densità pressa	Densità in sito	Grado di addensamento (%)
Studio con bitume schiumato	0,480	71,48	2,400		
Studio con emulsione modificata	0,450	61,49	2,363		
Valori in opera con emulsione	0,458	67,87	2,303	2,281	99
Valori in opera con bitume schiumato	0,390	60,62	2,230	2,170	97,31

Bisogna riconoscere all'emulsione due vantaggi:

- è più facilmente stoccabile in cantiere in quanto si presenta a bassa temperatura e ciò permette una certa flessibilità nelle tempistiche di stesa; è bene infatti precisare che, in cantieri di questo tipo, il programma degli interventi a volte può subire dei ritardi; viceversa per ottenere la "schiuma di bitume" il bitume nell'autobotte alla stesa deve essere alla temperatura di 180 °C pertanto non è possibile posticipare la lavorazione di riciclaggio.
- è modificata con elastomeri e ciò permette di ottenere un conglomerato finale con caratteristiche e prestazioni più simili a quelle di una miscela vergine elastomerizzata.

6. Problematiche in corso d'opera

In fase di progettazione è stato necessario entrare nel merito della tempistica, programmazione e gestione del cantiere, introducendo i seguenti punti necessari per la buona riuscita delle opere:

- nella divisione dei vari tratti omogenei ove eseguire gli interventi si è cercato di far lavorare i macchinari su tronchi di lunghezza sufficiente per riuscire ad ottenere una livelletta longitudinale in sito il più possibile conforme a quella del progetto iniziale dell'opera; infatti i rigonfiamenti del rilevato nel tempo non permettevano di avere alcun punto di riferimento e, per ottenere la ri-profilatura longitudinale del piano viabile, è stato necessario eseguire il rilievo topografico esistente in mezzeria e ricreare in opera il profilo longitudinale di progetto;
- la risagomatura è stata eseguita per correzioni successive, togliendo i rigonfiamenti più evidenti con la prima fresatura ed ottenendo progressivamente il profilo longitudinale ottimale a mezzo di livellatore meccanico prima e dopo il riciclaggio; l'ultimo lieve ritocco alle quote è stato eseguito con la stesa del misto in alto modulo, che per tale motivo è stata contabilizzata a peso;
- tra la posa del misto ad alto modulo e quella dello strato di finitura *antiskid* è stata imposta una interruzione contrattuale

dei lavori di 30 giorni a traffico aperto per permettere da un lato il controllo del profilo, dall'altro la verifica di eventuali risalite di bitume sotto l'effetto del traffico; queste risalite sono abbastanza comuni quando si ricicla in sito, in quanto alcune lievi perdite di bitume o emulsione in cantiere sono inevitabili.

La riuscita di questo intervento è stata strettamente connessa ad una esecuzione a regola d'arte altamente specialistica.

Le fasi di esecuzione (Fig. 4 e 5), dopo il primo intervento di fresatura di 3 cm (valore medio), sono cronologicamente le seguenti:

1. fresatura del pacchetto bituminoso esistente e di parte della fondazione in misto granulare spessore medio totale 30 cm;
2. risagomatura longitudinale e trasversale delle livellette stradali a mezzo di livellatore meccanico (*grader*);
3. stesa del cemento nelle percentuali ottime;
4. intervento di riciclaggio con aggiunta di bitume schiumato e acqua ovvero emulsione bituminosa elastomerizzata e acqua nelle percentuali ottime. La lavorazione deve essere effettuata con una sola passata con macchina a tutta larghezza mediante sistemi che consentano di ottenere uno strato perfettamente sagomato, privo di sgranamenti, fessurazioni ed esente da difetti dovuti alla segregazione degli elementi litoidi più grossi;



Fig. 4 Fasi di esecuzione dell'intervento di riciclaggio

5. compattazione immediata con un rullo gommato insieme ad un rullo metallico o combinato entrambi di almeno 20 t;
6. eventuale ulteriore intervento con *grader* se si riscontrassero ondulazioni residue nelle livellette;
7. seconda compattazione con un rullo gommato insieme ad un rullo metallico o combinato entrambi di almeno 20 t; in alternativa possono essere utilizzati rulli vibranti, comunque tutti approvati dalla DL. Durante la compattazione, nel caso di temperature elevate, è necessario umidificare il piano per migliorare l'addensamento.

6.1 Controlli in corso d'opera

Per quanto riguarda le caratteristiche della miscela, prima della compattazione sono stati eseguiti prelievi dai quali sono stati confezionati provini tramite pressa giratoria.

La miscela doveva rispondere ai seguenti requisiti dalle prove di laboratorio:

- ▶ resistenza a trazione diametrale R_t a 72h di maturazione $\geq 0,40$ N/mm²;
- ▶ coefficiente di trazione indiretta CTI a 72h di maturazione ≥ 60 N/mm²;
- ▶ densità geometrica di riferimento per il controllo in sito.

Al termine della compattazione lo strato finito doveva avere una densità secca uniforme in tutto lo spessore non inferiore al 97% di quella geometrica dei provini costipati con pressa giratoria a 180 giri; il grado di



addensamento è stato misurato su carotaggi già eseguiti a fine lavori per i lotti primo e secondo.

7. Risultati ottenuti

Lo scopo dell'intervento era quello di ottenere una densità geometrica in sito a mezzo di carotaggio dopo 60 giorni dal riciclaggio pari almeno al 97% di quella di laboratorio ottenuta con la pressa giratoria.

Sia l'intervento con bitume schiumato che quello con emulsione modificata hanno dato risultati soddisfacenti, come si può notare dai campioni prelevati, a confronto con il solo pacchetto bituminoso prima degli interventi nonché dal prospetto di cui al par. 4.

Il tratto di S.P. CR ex S.S. n° 415 "Paulese" in corri-

spondenza della circonvallazione di Crema ha ora un andamento longitudinale nella norma, una sovrastruttura stradale di 33 cm di media, completamente in conglomerato bituminoso che appoggia sul rilevato a mezzo di un cuscinetto granulare di circa 5-10 cm di spessore.

L'intervento così come è stato concepito è costato di media 23,00 €/mq riducendo al minimo i materiali di risulta ed aggiungendo in tutto solamente 7 cm compressi di conglomerato bituminoso modificato.

Viceversa, un'operazione di sostituzione del pacchetto bituminoso e della fondazione granulare esistenti con nuovi materiali legati avrebbe avuto un costo presunto di 48,00 €/mq, la produzione di enormi quantità di materiale di risulta e la necessità di procurare una quantità pressoché equivalente di materiale vergine. ■



Fig. 5 Ulteriori fasi della lavorazione

