

REGIONE
TOSCANA



GIUNTA REGIONALE
DIREZIONE GENERALE DELLE POLITICHE
AMBIENTALI E TERRITORIALI
Settore Rifiuti e Bonifiche

Allegato 2

DOCUMENTO TECNICO D'INDIRIZZO

**CAPITOLATO SPECIALE D'APPALTO TIPO
A CARATTERE PRESTAZIONALE
PER L'UTILIZZO DI MATERIALI INERTI RICICLATI
DA COSTRUZIONE E DEMOLIZIONE**

CAPITOLATO SPECIALE D'APPALTO TIPO A CARATTERE PRESTAZIONALE PER L'UTILIZZO DI MATERIALI INERTI RICICLATI DA COSTRUZIONE E DEMOLIZIONE

INDICE

1 - QUADRO DI RIFERIMENTO

2 – TERMINI DEFINIZIONI E CLASSIFICAZIONI

- 2.1. Termini e definizioni
- 2.2. Classificazioni
 - 2.2.1. Categorie di aggregati riciclati
 - 2.2.2. Composizione delle miscele

3 - PRODUZIONE E IMPIEGO DI MATERIALI INERTI RICICLATI

- 3.1. Requisiti degli impianti di produzione
 - 3.1.1. Impianti a prodotto costante
- 3.2. Formazione, stoccaggio e caratterizzazione dei lotti
- 3.3. Campionamento ai fini della caratterizzazione del prodotto
 - 3.3.1. Campionamento da cumuli conici o piramidali
 - 3.3.2. Campionamento da cumuli piatti ed estesi
 - 3.3.3. Campionamento da lotti omogeneizzati in fase di formazione
 - 3.3.4. Campionamento da veicoli impiegati per il trasporto
 - 3.3.5. Riduzione del numero dei prelievi da impianti a prodotto costante
- 3.4. Accettazione per l'impiego

4 – COSTRUZIONE DEL CORPO DEI RILEVATI STRADALI

- 4.1. Generalità
- 4.2. Pianificazione dei lavori
- 4.3. Campi prova
- 4.4. Piano particolareggiato delle lavorazioni
- 4.5. Piani di posa
 - 4.5.1. Preparazione del terreno di sedime
 - 4.5.2. Terreni cedevoli
 - 4.5.3. Requisiti di portanza
 - 4.5.4. Bonifiche del terreno di sedime
 - 4.5.5. Strati anticapillari
- 4.6. Aggregati
 - 4.6.1. Requisiti fisico-meccanici
 - 4.6.2. Requisiti chimici
- 4.7. Posa in opera

- 4.8. Compattazione
- 4.9. Protezione
- 4.10. Controlli
 - 4.10.1. Controlli delle forniture
 - 4.10.2. Controlli prestazionali degli strati finiti
 - 4.10.3. Frequenza dei controlli degli strati finiti
- 4.11. Tolleranze
 - 4.11.1. Tolleranze dei risultati delle prove di controllo
 - 4.11.2. Tolleranze delle giaciture dei piani realizzati rispetto a quelle di progetto

5 - COSTRUZIONE DEI SOTTOFONDI STRADALI

- 5.1. Generalità
- 5.2. Pianificazione dei lavori
- 5.3. Campi prova
- 5.4. Piano particolareggiato delle lavorazioni
- 5.5. Piani di posa
 - 5.5.1. Requisiti di portanza
 - 5.5.2. Bonifiche dei sottofondi e dei piani di posa
- 5.6. Aggregati
 - 5.6.1. Requisiti fisico-meccanici
 - 5.6.2. Requisiti chimici
- 5.7. Posa in opera
- 5.8. Compattazione
- 5.9. Protezione
- 5.10. Controlli
 - 5.10.1. Controlli delle forniture
 - 5.10.2. Controlli prestazionali degli strati finiti
 - 5.10.3. Frequenza dei controlli degli strati finiti
- 5.11. Tolleranze
 - 5.11.1. Tolleranze dei risultati delle prove di controllo
 - 5.11.2. Tolleranze delle giaciture dei piani realizzati rispetto a quelle di progetto

6 - COSTRUZIONE DEGLI STRATI DI FONDAZIONE DI SOVRASTRUTTURE STRADALI

- 6.1. Generalità
- 6.2. Aggregati
 - 6.2.1. Requisiti di composizione
 - 6.2.2. Requisiti chimici
 - 6.2.3. Requisiti fisico – meccanici
- 6.3. Accettazione
- 6.4. Confezionamento
- 6.5. Posa in opera
- 6.6. Controlli
 - 6.6.1. Controlli delle forniture
 - 6.6.2. Controlli prestazionali degli strati finiti

7 - COSTRUZIONE DI STRATI IN MISTO CEMENTATO

- 7.1. Generalità
- 7.2. Aggregati

- 7.2.1. Requisiti di composizione
- 7.2.2. Requisiti chimici
- 7.2.3. Requisiti fisico-meccanici
- 7.3. Accettazione delle miscele
- 7.4. Confezionamento delle miscele
- 7.5. Preparazione delle superfici di stesa
- 7.6. Posa in opera delle miscele
- 7.7. Protezione superficiale degli strati finiti
- 7.8. Controlli
 - 7.8.1. Controlli dei materiali costituenti
 - 7.8.2. Controlli delle miscele prelevate in fase di posa in opera
 - 7.8.3. Controlli prestazionali degli strati finiti

8 – COSTRUZIONE DEL CORPO DEI RILEVATI FERROVIARI

- 8.1. Generalità
- 8.2. Definizioni
- 8.3. Campo di applicazione
- 8.4. Documentazione e normativa di riferimento
- 8.5. Caratteristiche dei materiali di provenienza
- 8.6. Caratteristiche dell'impianto di lavorazione
- 8.7. Caratteristiche del materiale riciclato
- 8.8. Requisiti del materiale riciclato
 - 8.8.1. Requisiti dimensionali
 - 8.8.2. Requisiti fisici e meccanici
 - 8.8.3. Requisiti chimici
 - 8.8.4. Altri componenti
- 8.9. Requisiti del materiale in opera
 - 8.9.1. Requisiti dimensionali
 - 8.9.2. Requisiti fisici
- 8.10. Posa in opera
 - 8.10.1. Compattazione e finitura
- 8.11. Controlli
 - 8.11.1. Controlli in impianto
 - 8.11.2. Controlli sui materiali da mettere in opera stoccati in cantiere
 - 8.11.3. Controlli sul prodotto finale
- 8.A. Appendice
 - 8.A.1. Altre opere da realizzare con materiali provenienti dalle demolizioni edilizie
 - 8.A.2. Bonifica del terreno di sedime
 - 8.A.3. Verifiche di stabilità
 - 8.A.4. Campo prova
 - 8.A.5. Elaborati grafici progettuali

9 - COSTRUZIONE DEI SOTTOFONDI FERROVIARI

10 - FORMAZIONE DEI RIEMPIMENTI

- 10.1. Sistemazione dei tratti di rilevato rimasti in sospeso
- 10.2. Rinterri di cavi praticati nel corpo stradale
- 10.3. Riempimenti a ridosso di opere di sostegno
 - 10.3.1. Riempimenti soggetti a carichi da traffico veicolare

- 10.3.2. Riempimenti non soggetti a carichi da traffico veicolare
- 10.4. Ripristino di cavi di fondazione a ridosso di strutture murarie non soggetti a traffico veicolare

11 – BONIFICHE DEI PIANI DI POSA

- 11.1. Bonifiche dei piani di posa dei rilevati stradali
 - 11.1.1. Aggregati
 - 11.1.2. Requisiti prestazionali
- 11.2. Bonifiche dei sottofondi stradali
 - 11.2.1. Aggregati
 - 11.2.2. Requisiti prestazionali
- 11.3. Bonifiche dei piani di posa dei rilevati ferroviari
 - 11.3.1. Aggregati
 - 11.3.2. Requisiti prestazionali

1. – QUADRO DI RIFERIMENTO

Nella costruzione di opere di Genio Civile come strade, ferrovie, piazzali portuali e interportuali, nelle quali sono generalmente più elevate le quantità di materiali inerti da impiegare per nuove realizzazioni o da smaltire, è sicuramente vantaggioso prevedere il riciclaggio e il riuso delle materie di risulta da attività di demolizione e costruzione, quali:

- quelle generate da attività di costruzione e demolizione di opere edilizie o stradali e quelle prodotte da escavazioni. La loro componente più significativa è costituita da frazioni inerti di macerie, terre e rocce di scavo.

Il riuso dei materiali inerti riciclati come materie prime seconde è suggerito da diverse esigenze connesse a tematiche ambientali e economiche tra le quali:

- la presenza sempre più estesa di aree interessate da notevoli quantità di scarti provenienti dall'edilizia e da settori ad essa collegati con conseguente incremento della richiesta di aree da destinare a discariche;
- l'asportazione di materiali inerti naturali che comporta impatti negativi specialmente quando le aree interessate sono ambientalmente pregiate;
- l'impiego dei sempre più onerosi aggregati naturali con conseguente incremento dei costi di costruzione.

Da tempo sono state sperimentate, sia in laboratorio sia in sito, le buone qualità dei materiali inerti recuperati, e le tecniche di trattamento e di riciclaggio di tale tipologia di materiali consentono di ottenere aggregati con caratteristiche prestazionali paragonabili a quelle dei tradizionali inerti naturali.

Tuttavia la diffusione dell'utilizzo ed anche la produzione su larga scala dei derivati dal riciclaggio dei rifiuti da costruzione e demolizione è ancora ridotta per diversi motivi, tra questi può annoverarsi anche l'assenza o la carenza di specifici strumenti tecnici (Capitolati Speciali d'Appalto) e normativi.

Le Norme Tecniche del Capitolato Speciale d'Appalto possono avere un'impostazione diversa a seconda che siano di tipo prescrittivo o di tipo prestazionale.

Le Norme Tecniche prescrittive: si basano sulle conoscenze precedentemente acquisite sulla buona riuscita di realizzazioni analoghe per tipologia e condizioni di esercizio. Riguardano tutte le fasi della realizzazione di una determinata opera, e cioè: l'accettabilità dei materiali, il

confezionamento delle miscele, i controlli in corso d'opera, le macchine di cantiere e le modalità esecutive dei lavori in generale.

Le Norme prestazionali: si riferiscono alle prestazioni che l'opera dovrà garantire dopo la sua ultimazione. A queste prestazioni sono associati parametri di controllo che possono essere valutati prescindendo dai materiali impiegati e dalle tecniche di lavorazione adottate, i controlli sono quindi effettuati sull'opera finita. Ne deriva che, per essere pienamente efficaci, le Norme Tecniche di questo tipo debbono basarsi su parametri assolutamente affidabili e inequivocabilmente connessi alle prestazioni finali. Per i controlli sono quindi da preferire determinazioni sperimentali simulative in reale grandezza e/o di tipo razionale in laboratorio che consentano di valutare le caratteristiche prestazionali con parametri significativi. Le Norme prestazionali agevolano la Direzione Lavori, perché può evitare i continui controlli in corso d'opera, e l'Impresa esecutrice perché può adottare le strategie più vantaggiose per ottenere le caratteristiche prestazionali prescritte.

Va segnalato al riguardo che l'attuazione delle Norme prestazionali richiede un superiore livello di conoscenze da parte dei Tecnici e delle Imprese e la disponibilità di Laboratori prove dotati di specifiche attrezzature sperimentali, in generale più complesse di quelle tradizionali, necessarie per le prove in laboratorio e per quelle in sito che debbono essere del tipo ad "alto rendimento", cioè capaci di determinare in breve tempo i parametri richiesti.

Sulla base di tali considerazioni si è ritenuto opportuno mettere a punto il presente documento, con l'obiettivo di far convivere l'esigenza di prevedere Norme Tecniche di tipo prestazionale con quella di conservare quelle Norme Tecniche prescrittive non sopprimibili, opportunamente aggiornate, e tenendo conto della gerarchia delle varie realizzazioni.

A questo riguardo, per ciascuna delle categorie di opere di tipo stradale considerate, sono stati indicati i requisiti qualitativi dei materiali e i parametri prestazionali commisurati all'entità delle azioni indotte da traffico veicolare molto pesante, pesante, medio e leggero. Per le opere di tipo ferroviario i requisiti di cui sopra sono stati riferiti a quanto previsto dal vigente Capitolato emanato dalle Ferrovie dello Stato – Divisione Infrastrutture.

Per quanto riguarda la normativa tecnica relativa agli strumenti e ai metodi di controllo e alla classificazione dei materiali, si è fatto riferimento, a seconda dell'argomento trattato e della disponibilità di Norme approvate, alle Norme europee EN, alle Norme nazionali CNR e UNI, alle Norme VSS (Svizzera) e alle Norme ASTM (U.S.A.).

Per tenere conto del costante sviluppo tecnologico nel settore dei materiali riciclati da costruzione e demolizione, delle tecniche costruttive e in particolare del periodico aggiornamento cui è soggetta la Normativa Tecnica sopra citata, è opportuno che in tal senso il Capitolato sia periodicamente aggiornato.

2. – TERMINI DEFINIZIONI E CLASSIFICAZIONI

2.1. – TERMINI E DEFINIZIONI

- 2.1.1. AGGREGATO: materiale granulare utilizzato nelle costruzioni civili. Gli aggregati possono essere naturali, artificiali o riciclati.
- 2.1.2. AGGREGATO ARTIFICIALE: aggregato di origine minerale derivante da un processo industriale che implica una modificazione termica o di altro tipo.
- 2.1.3. AGGREGATO NATURALE: aggregato di origine minerale che è stato sottoposto unicamente a lavorazione meccanica.
- 2.1.4. AGGREGATO RICICLATO: aggregato costituito da materiali riciclati.
- 2.1.5. ARGILLA: frazione di terra costituita da granuli aventi dimensioni minori di 0,005 mm e dotata di plasticità variabile con il contenuto di umidità.
- 2.1.6. CORPO DEL RILEVATO: porzione di rilevato altimetricamente compresa tra il piano di posa dello stesso e il piano di posa del sottofondo.
- 2.1.7. CORPO STRADALE: è il solido altimetricamente compreso tra il piano di campagna e il piano viabile; tale definizione è estendibile anche all'infrastruttura ferroviaria.
- 2.1.8. CRIVELLO: vaglio con aperture di forma circolare.
- 2.1.9. DIMENSIONE DEI GRANULI: la dimensione del granulo è convenzionalmente definita secondo il metodo di prova seguito per la sua determinazione:
- se per vagliatura, dalla più piccola dimensione delle maglie del setaccio attraverso le quali passano i granuli;
 - se per sedimentazione, dal diametro della sfera di uguale peso specifico che si comporta alla stessa maniera del granulo.
- 2.1.10. FRAZIONE FINE (o FILLER): frazione granulometrica costituita da granuli di diametro medio minore di 0,063 mm (passante al setaccio con aperture di 0,063 mm).
- 2.1.11. FRAZIONE GRANULOMETRICA: porzione di materiale granulare costituita da granuli di diametro medio compreso tra due diametri medi prestabiliti.
- 2.1.12. GRANIGLIA: frazione granulometrica costituita da granuli di diametro medio compreso tra 10 e 2 mm , aventi forma poliedrica e spigoli vivi (passanti al setaccio con aperture di 10 mm e trattenuti al setaccio con aperture di 2 mm).
- 2.1.13. GRANULI O GRANI: le singole parti solide di una terra separabili senza frantumazione.

- 2.1.14. **GRANULOMETRIA:** percentuale in massa degli elementi granulari di varie dimensioni presenti in una miscela di aggregati. La sua determinazione è eseguita mediante l'impiego di setacci aventi aperture di dimensioni normalizzate.
- 2.1.15. **LOTTO:** quantità di produzione, quantità consegnata, quantità di consegna parziale (carico di treno merci, carico di autocarro, carico di una nave) o cumulo prodotto in una sola volta e in condizioni presumibilmente uniformi.
In caso di produzione continua, il lotto è la quantità prodotta durante un periodo prestabilito.
- 2.1.16. **MASSA VOLUMICA APPARENTE:** rapporto tra la massa di un campione di materiale e il suo volume.
- 2.1.17. **MASSA VOLUMICA DEL SECCO:** rapporto tra la massa di un campione di materiale essiccato a $105\div 110^{\circ}\text{C}$, fino massa costante, e il suo volume prima dell'essiccamento.
- 2.1.18. **MATERIALI RICICLATI:** materiali derivanti dal recupero di rifiuti provenienti da attività di costruzione e demolizione, trattati in impianti autorizzati ai sensi di legge. Il materiale per essere utilizzato nella produzione di aggregati riciclati deve avere caratteristiche conformi al test di cessione di cui all'allegato 3 del D. M. 05.02.1998. I materiali riciclati possono essere miscelati tra loro ed anche con terre naturali, in modo da favorirne il riutilizzo nelle costruzioni civili.
I materiali riciclati *provenienti da attività di costruzione o demolizione* sono prevalentemente costituiti da laterizi, murature, frammenti di conglomerati cementizi anche armati, rivestimenti e prodotti ceramici, scarti dell'industria di prefabbricazione di manufatti in calcestruzzo anche armato, frammenti di sovrastrutture stradali o ferroviarie, intonaci, allettamenti, materiali lapidei provenienti da cave autorizzate o da attività di taglio e lavorazione.
- 2.1.19. **PIETRISCHETTO:** frazione granulometrica costituita da granuli di diametro medio compreso tra 25 e 10 mm , aventi forma poliedrica e spigoli vivi (passanti al setaccio con aperture di 25 mm e trattenuti al setaccio con aperture di 10 mm).
- 2.1.20. **PIETRISCO:** frazione granulometrica costituita da granuli di diametro medio compreso tra 71 e 25 mm , aventi forma poliedrica e spigoli vivi (passanti al setaccio con aperture di 71 mm e trattenuti al setaccio con aperture di 25 mm).
- 2.1.21. **RIEMPIMENTI:** il ripristino di scavi di fondazione intorno a strutture, il rinterro di cavi praticati nel corpo stradale per diversi scopi (ad esempio per la posa di sottoservizi), il riempimento a ridosso di murature, opere di sostegno, ecc.
- 2.1.22. **RILEVATO:** porzione del corpo stradale altimetricamente compresa tra il suo piano di posa (di norma complanare a quello di campagna) e quello di posa della sovrastruttura stradale o ferroviaria.
- 2.1.23. **RIPETIBILITÀ "r" (di una prova):** è lo scarto ammissibile tra i risultati ottenuti da uno stesso sperimentatore.
- 2.1.24. **RIPRODUCIBILITÀ "R" (di una prova):** è lo scarto ammissibile tra i risultati ottenuti da sperimentatori diversi.
- 2.1.25. **SABBIA:** frazione granulometrica costituita da granuli di diametro medio compreso

tra 2 e 0,05 mm (passanti al setaccio con aperture di 2 mm e trattenuti al setaccio con aperture di 0,05 mm).

- 2.1.26. SETACCIO: vaglio con aperture di forma quadrata.
- 2.1.27. SOTTOFONDO: strato di materiale (tradizionalmente terroso) costituente il fondo di uno scavo o la parte superiore di un rilevato, avente caratteristiche atte a costituire adeguato appoggio alla sovrastruttura; tale deve considerarsi il materiale sino ad una profondità alla quale le azioni indotte dai carichi mobili sono apprezzabili ed influenti sulla stabilità dell'insieme (di solito dell'ordine di 100 cm per le sovrastrutture stradali e di 200 cm nel caso delle sovrastrutture ferroviarie).
- 2.1.28. SOVRASTRUTTURA FERROVIARIA: costituita dagli strati di sub-ballast (insieme di strati in genere legati a bitume o a cemento, sempre presenti nelle linee ad alta velocità) e dal ballast o massicciata (strato di pietrisco sul quale è allocato l'armamento ferroviario costituito dall'insieme delle rotaie, delle traverse e relativi ancoraggi).
- 2.1.29. SOVRASTRUTTURA STRADALE (O PAVIMENTAZIONE): la parte del corpo stradale costituita dall'insieme di strati sovrapposti, di materiali e spessori diversi, avente la funzione di sopportare complessivamente le azioni indotte dal traffico e di trasmetterle e distribuirle, opportunamente attenuate, sul sottofondo.
- 2.1.30. STRATO ANTICAPILLARE: strato di materiale granulare di adeguato spessore e di opportuna composizione granulometrica, interposto tra lo strato di fondazione ed il sottostante sottofondo, destinato ad interrompere l'eventuale risalita capillare di acqua proveniente da falda acquifera.
- 2.1.31. STRATO DI BASE: nel caso delle pavimentazioni stradali è lo strato intermedio, disposto tra l'insieme degli strati superficiali e lo strato di fondazione, ad esso è demandato principalmente il compito di resistere ai carichi verticali trasmessi localmente dallo strato o dagli strati superficiali, ripartendoli sui sottostanti strati di fondazione di minori qualità portanti; qualora, a causa della particolare pesantezza del traffico e/o della scarsa portanza del sottofondo, fosse necessario ricorrere ad uno spessore rilevante di questo strato intermedio, può risultare opportuno suddividerlo in due strati, superiore ed inferiore, eventualmente differenziandone i materiali per motivi economici e per regolarità costruttiva.
- 2.1.32. STRATO DI BONIFICA DEL TERRENO DI SEDIME: porzione del terreno di sedime (di spessore opportuno) che viene stabilizzato o sostituito con idoneo materiale inerte quando la natura e lo stato dei terreni di sedime non consentono, con il solo costipamento, di ottenere i valori di portanza richiesti.
- 2.1.33. STRATO DI FONDAZIONE: parte inferiore della sovrastruttura a contatto con il sottofondo, avente la funzione di trasmettere le azioni verticali, ulteriormente ripartite ed attenuate, al sottofondo stesso; normalmente, nel caso stradale, lo strato di fondazione è in materiale meno pregiato di quello costituente gli strati sovrastanti e può essere suddiviso in più strati; nel caso ferroviario la funzione dello strato di fondazione viene svolta dal ballast e dall'eventuale sub-ballast.
- 2.1.34. STRATO DRENANTE: strato di materiale poroso permeabile, posto a conveniente quota nel corpo stradale, al fine di provvedere alla raccolta e allo smaltimento verso

le cunette laterali, o altri dispositivi drenanti, delle acque di falda o di infiltrazione.

- 2.1.35. TERRA: per terra si intende ogni roccia sciolta, ogni roccia frammentaria, cioè incoerente per natura o che diviene tale in seguito a più o meno prolungato contatto con acqua. I singoli frammenti possono avere dimensioni da qualche centimetro alla frazione di micron.
- 2.1.36. TERRENO: per terreno si intende la roccia, sia essa sciolta sia lapidea, considerata nel suo ambiente naturale.
- 2.1.37. TERRENO DI SEDIME: terreno naturale sul quale poggia l'intero corpo stradale.
- 2.1.38. TERRENO VEGETALE: è la parte superiore del terreno contenete sostanze organiche ed interessata dalle radici delle colture.
- 2.1.39. TRAFFICO: qui definito come numero medio di passaggi giornalieri di veicoli commerciali (V.C.) sulla corsia o sull'area rotabile più trafficata.
- 2.1.40. TRAFFICO LEGGERO (L): minore di 450 (V.C.).
- 2.1.41. TRAFFICO MEDIO (M): da 450 a 1100 (V.C.).
- 2.1.42. TRAFFICO PESANTE (P): da 1100 a 3000 (V.C.).
- 2.1.43. TRAFFICO MOLTO PESANTE (PP): maggiore di 3000 (V.C.).
- 2.1.44. UMIDITÀ: rapporto percentuale tra la massa dell'acqua eliminata per essiccamento fino a massa costante a 105÷110°C e la massa del materiale così essiccato.
- 2.1.45. VEICOLO COMMERCIALE (V.C.): autoveicolo di massa totale a terra maggiore o eguale a 3 t.

2.2. – CLASSIFICAZIONI (Norma UNI EN 13285/2004)

2.2.1. - CATEGORIE DI AGGREGATI RICICLATI

Calcestruzzi riciclati

Aggregati costituiti prevalentemente da frammenti di conglomerati cementizi, anche armati, provenienti da demolizioni di opere in cemento armato, dagli scarti dell'industria di prefabbricazione di manufatti anche armati, da traversine ferroviarie e altri manufatti in c.a., aventi la seguente composizione:

Componenti		Percentuale in massa
<i>Principale</i>	Calcestruzzo frantumato (massa volumica $>2,1 \text{ Mg/m}^3$) e materiali litici frantumati (con esclusione di aggregati argillo-scistosi e gessosi)	• 90
<i>Altri</i>	Scarti edilizi frantumati di murature, rivestimenti e allettamenti (massa volumica $>1,6 \text{ Mg/m}^3$)	• 10
	Conglomerati bituminosi frantumati	• 5
<i>Contaminanti</i>	Materiali terrosi coesivi	• 1
	Materiali organici	• 0,1

Murature riciclate

Aggregati costituiti prevalentemente da elementi in laterizio (mattoni, piastrelle e laterizi in genere) derivanti da demolizioni edilizie di manufatti in muratura, aventi la seguente composizione:

Componenti		Percentuale in massa
<i>Principale</i>	Scarti edilizi frantumati di murature, rivestimenti e allettamenti (massa volumica $>1,6 \text{ Mg/m}^3$), calcestruzzo frantumato e materiali litici frantumati (con esclusione di aggregati argillo-scistosi e gessosi)	• 80
<i>Altri</i>	Materiali granulari con massa volumica $<1,6 \text{ Mg/m}^3$	• 20
	Conglomerati bituminosi frantumati	• 5
<i>Contaminanti</i>	Materiali non lapidei e argilla	• 1
	Materiali organici	• 0,1

Macerie

Aggregati costituiti prevalentemente da miscele dei componenti principali che caratterizzano le categorie di aggregati "calcestruzzi riciclati" e "murature riciclate", aventi la seguente composizione:

Componenti		Percentuale in massa
<i>Principali</i>	Calcestruzzo frantumato (massa volumica $>2,1 \text{ Mg/m}^3$) e materiali litici frantumati (con esclusione di aggregati argillo-scistosi e gessosi)	• 50
	Scarti edilizi frantumati di murature, rivestimenti e allettamenti (massa volumica $>1,6 \text{ Mg/m}^3$)	• 50
<i>Altri</i>	Materiali granulari con massa volumica $<1,6 \text{ Mg/m}^3$	• 10
	Conglomerati bituminosi frantumati	• 5
<i>Contaminanti</i>	Materiali non lapidei e argilla	• 1
	Materiali organici	• 0,1

Materiali da demolizioni stradali

Aggregati costituiti prevalentemente da materiali derivanti dalla demolizioni di sottofondi e sovrastrutture stradali, aventi la seguente composizione:

Componenti		Percentuale in massa
<i>Principali</i>	Materiali per pavimentazioni stradali, incluso calcestruzzo frantumato, aggregati non legati e aggregati legati con leganti idraulici frantumati	• 90
	Conglomerati bituminosi frantumati	• 30
<i>Contaminanti</i>	Materiali non lapidei e argilla	• 1
	Materiali organici	• 0,1

2.2.2. – COMPOSIZIONE DELLE MISCELE

La composizione delle miscele contenenti aggregati riciclati deve essere determinata mediante separazione visiva, utilizzando le modalità sperimentali riportate in Appendice A della Norma UNI EN 13285 e deve essere conforme, per ciascuna delle categorie di cui sopra, alla relativa composizione.

I materiali C&D da utilizzare nelle opere previste nel presente Capitolato potranno essere ottenuti impiegando o materiali appartenenti ad una sola delle categorie di cui sopra oppure miscelando in opportune proporzioni materiali appartenenti a categorie diverse con eventuali integrazioni di materiale naturale, nel rispetto dei limiti di composizione di seguito indicati per le varie categorie di lavoro.

3 - PRODUZIONE E IMPIEGO DI MATERIALI INERTI RICICLATI

3.1. REQUISITI DEGLI IMPIANTI DI PRODUZIONE

Gli impianti di produzione di inerti riciclati devono essere qualificati dalla Direzione Lavori per stabilirne l'idoneità alla fornitura del materiale, nonché la rispondenza alle prescrizioni metodologiche del processo di cui al D.M. 05/02/98, n.72.

Le modalità di trattamento e di miscelazione dei residui delle attività dalle quali viene generato l'aggregato possono influire notevolmente sulla qualità del prodotto finale.

Per ottenere con maggiore certezza costanti risultati in opera, il materiale da riciclo deve mantenere elevati livelli di costanza granulometrica e di composizione. A tal fine gli impianti di produzione di inerti riciclati possono essere organizzati in modo tale da:

- a) consentire il controllo della qualità dei materiali in arrivo, per una verifica delle caratteristiche e dell'idoneità all'utilizzo;
- b) essere dotati di zone debitamente attrezzate e delimitate per lo stoccaggio provvisorio del materiale, eventualmente suddiviso per tipologie (calcestruzzi, macerie, conglomerati bituminosi, sfridi, scarti industriali, ecc.);
- c) consentire l'alimentazione dell'impianto di trattamento mediante mezzo meccanico (per esempio una pala gommata), evitando che lo stesso venga alimentato direttamente dagli autocarri in arrivo;
- d) consentire, in uscita dalla tramoggia di alimentazione, il controllo qualitativo dei materiali con eventuale esclusione dal ciclo produttivo del materiale non idoneo e/o pericoloso ed invio, tramite un by-pass, ad uno stoccaggio separato;
- e) consentire una prima vagliatura, mediante vibrovaglio, per l'eliminazione della frazione fine, e il convogliamento del materiale nella camera di frantumazione del mulino, in modo da avere la riduzione granulometrica dei detriti ed il perfetto distacco delle armature di acciaio dal calcestruzzo;
- f) consentire l'individuazione di sostanze pericolose e/o nocive;
- g) essere dotato di un deferizzatore primario per l'eliminazione degli elementi ferrosi e di un secondo deferizzatore, posto più vicino al nastro, in grado di eliminare anche le parti metalliche minute eventualmente sfuggite al primo deferizzatore;
- h) consentire la separazione automatica, anche in più stadi, delle frazioni di materiale non idoneo (carta, residui di legno, frazioni leggere, ecc.) che devono essere convogliate in appositi contenitori;
- i) essere dotato di un vibrovaglio, per la selezione delle diverse frazioni granulometriche. Per garantire la costanza della qualità del prodotto, a prescindere dalle tipologie in alimentazione, gli impianti devono essere strutturati in modo tale da consentire la compensazione di carenze o eccedenze di frazioni granulometriche (dovute al tipo di materiale immesso nel ciclo); ciò, mediante la predisposizione di adeguate stazioni di vagliatura, in modo tale che, sul nastro trasportatore che alimenta lo stoccaggio finale del prodotto, sia presente l'intero assortimento granulometrico richiesto.

Tali caratteristiche impiantistiche si intendono di riferimento e, quindi, non vincolanti. Vincolante è l'approvazione dell'impianto da parte della Direzione dei Lavori.

3.1.1 - IMPIANTI A PRODOTTO COSTANTE

Impianti nei quali sono rispettati tutti i requisiti di cui ai precedenti punti da a) ad i) e nei quali sia mantenuto un controllo efficace sulla produzione al fine di garantirne un elevato livello di costanza granulometrica e di composizione degli inerti prodotti (vedasi anche al successivo § 3.3.5.).

3.2. FORMAZIONE, STOCCAGGIO E CARATTERIZZAZIONE DEI LOTTI

In relazione alla variabilità della provenienza dei materiali in arrivo all'impianto, dalla quale può conseguire una disuniformità del comportamento in opera, gli aggregati riciclati possono essere impiegati unicamente se facenti parte di lotti previamente caratterizzati. I risultati delle prove di laboratorio su campioni, da prelevare secondo le modalità di seguito indicate, sono da ritenersi rappresentativi del solo lotto sul quale è stato effettuato il campionamento.

I singoli lotti di prodotto devono essere stoccati su un piano di posa stabile, pulito, regolare e ben drenato, in modo che risultino ben separati e distinguibili gli uni dagli altri. I lotti hanno di norma dimensioni variabili da 500 a 3000 m³.

L'accumulo del materiale può avvenire, per ciascun lotto:

- in cumuli di forma conica o piramidale, costituiti per caduta dall'alto del materiale, senza particolari accorgimenti destinati ad evitare la segregazione granulometrica o a favorire la miscelazione degli apporti;
- in cumuli piatti ed estesi, a superficie superiore piana ed orizzontale e di altezza massima di 3 m; in tal caso possono essere sovrapposte partite diverse, purché la base di appoggio della partita sovrastante sia interamente interna, con adeguato margine, alla superficie superiore della partita sottostante. Questo tipo di accumulo di materiale è da preferire perché contribuisce a prevenire i fenomeni di segregazione che si verificano nei cumuli conici o piramidali;
- con accorgimenti e modalità distributive che consentano di garantire elevati livelli di omogeneità granulometrica e di composizione;
- in volumi predisposti per un sistema di asportazione automaticamente omogeneizzante.

Eccezionalmente, un lotto può essere costituito dal solo contenuto del singolo veicolo impiegato per il trasporto.

3.3. CAMPIONAMENTO AI FINI DELLA CARATTERIZZAZIONE DEL PRODOTTO

Il campionamento deve essere eseguito a cura del Personale del Laboratorio specializzato che effettua le prove sul materiale e che redige il relativo Certificato di prova.

Durante l'esecuzione delle campionature devono essere annotate e riportate in apposito Verbale di prelevamento tutte le notizie che possono concorrere a fornire utili indicazioni sulla rappresentatività dei campioni prelevati, sulla loro ubicazione e sulle condizioni dei cumuli.

Ciascun campione deve essere tenuto separato dagli altri, chiuso in un contenitore contraddistinto da etichetta chiara ed inalterabile, e poi trasportato adottando precauzioni idonee ad evitare l'alterazione delle caratteristiche del materiale, la variazione della granulometria, la segregazione e la perdita di materiale fine.

3.3.1. CAMPIONAMENTO DA CUMULI CONICI O PIRAMIDALI

Quando il materiale sia disposto in cumuli costituiti per caduta dall'alto senza particolari accorgimenti, il prelievo dei campioni deve essere eseguito come segue:

- se il materiale si presenta sufficientemente uniforme, con riguardo al colore, alla distribuzione granulometrica, alla composizione o ad altre caratteristiche di immediata evidenza, si preleveranno almeno cinque campioni, ciascuno di massa minima di 50 kg, da parti diverse e a differente quota del cumulo, adottando le accortezze previste dalla Norma UNI EN 932-1 Appendice C (v. **Figura 3.1.** e **3.2.**), avendo cura di ottenere la migliore rappresentatività possibile per i differenti tempi di costituzione del cumulo;
- se nello stesso cumulo il materiale presenta evidenti sensibili disuniformità, sia di colore, sia di granulometria, sia per altri caratteri di immediata evidenza, si devono prelevare distinti campioni in corrispondenza delle notate disuniformità, in numero almeno pari alle zone di diverse caratteristiche e, comunque, non inferiori a sei.

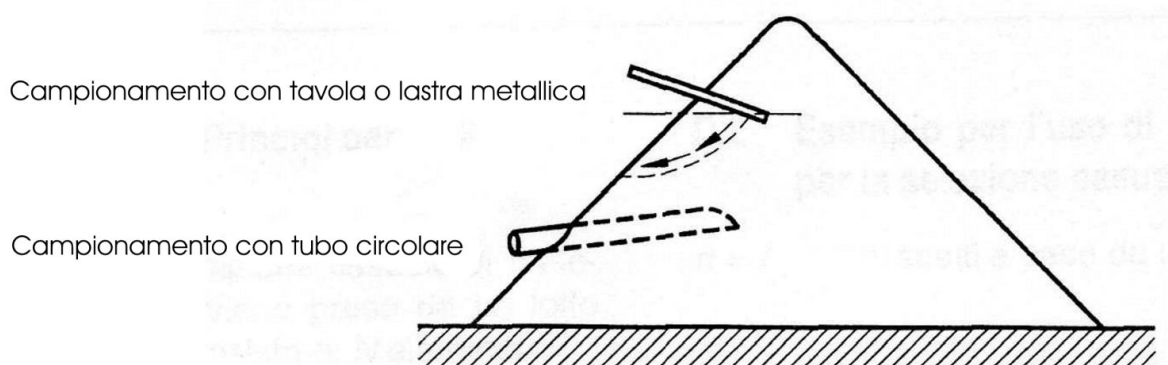


Figura 3.1 - Campionatura da cumuli conici

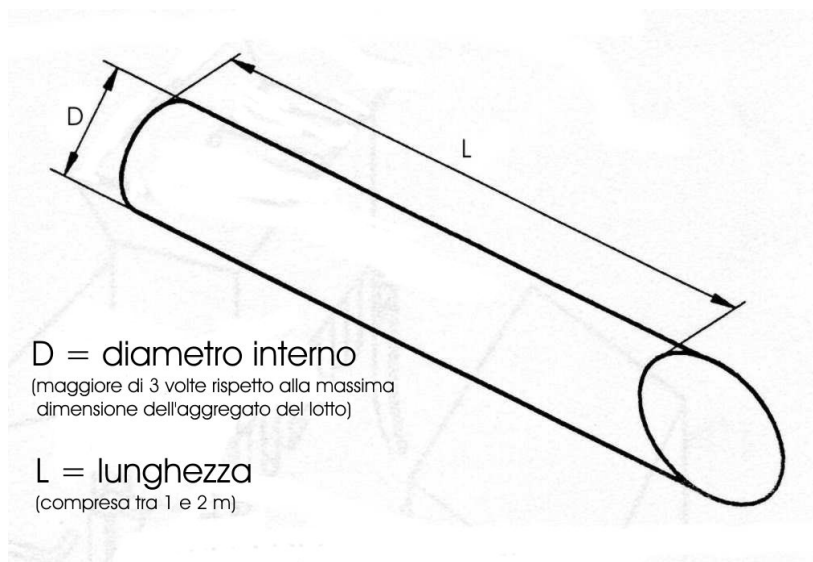


Figura 3.2 – Tubo di campionamento

3.3.2. CAMPIONAMENTO DA CUMULI PIATTI ED ESTESI

Come già indicato (v. § 3.2) l'accumulo in strati orizzontali è da preferire in quanto contribuisce a prevenire i fenomeni di segregazione che si verificano nei cumuli conici o piramidali. Il cumulo piatto ed esteso, costituente un singolo lotto, deve avere altezza massima di 3.00 m.

Individuato approssimativamente il baricentro della superficie superiore del lotto da saggiare, si eseguono i prelievi, in numero non inferiore a quello indicato nella **Tabella 3.1**, in punti opportunamente prescelti su una spirale avente origine nel baricentro (come esemplificato nella **Figura 3.3**), in modo da evidenziare eventuali disuniformità.

Tabella 3.1 - Campionatura da cumuli piatti

Volume del cumulo piatto (m ³)	< 500	500 ÷ 1000	1000 ÷ 3000
Numero minimo di campioni	3	4	5

$r/R_{\max}$		Numero di prelievi		
		3	4	5
A	0	X	X	X
AB	0,55		X	X
AC	0,85		X	X
AD	0,72	X		X
AE	0,96	X	X	X

3.3.3. CAMPIONAMENTO DA LOTTI OMOGENEIZZATI IN FASE DI FORMAZIONE

Se i lotti vengono disposti in cumuli piatti ed estesi ed omogeneizzati in modo automatico durante la loro formazione, il campionamento può essere effettuato progressivamente e contestualmente alla formazione, purché si adottino sistemi automatici atti a garantire la rappresentatività e la non alterabilità del prelievo. In tale caso il campione globale deve essere suddiviso in parti corrispondenti ad afflussi relativi al massimo a 3 metri di cumulo; ciascuna parte va poi ridotta tramite quartatura al peso minimo di circa 50 kg del campione da sottoporre a prova.

In alternativa possono essere eseguiti prelievi dopo aver terminato la formazione del cumulo, secondo la procedura più idonea tra quelle indicate nei precedenti § 3.3.1. e § 3.3.2.

3.3.4. CAMPIONAMENTO DAI VEICOLI IMPIEGATI PER IL TRASPORTO

Qualora si renda necessario eseguire il prelievo dei campioni dai veicoli impiegati per il trasporto del materiale, si procede, per ciascun veicolo, secondo la procedura e con le cautele indicate dalla Norma UNI EN 932-1. I singoli campioni, del peso minimo di circa 50 kg devono essere tenuti separati e sottoposti alle prove separatamente.

3.3.5. - RIDUZIONE DEL NUMERO DEI PRELIEVI DA IMPIANTI A PRODOTTO COSTANTE

Per un impianto che rispetti tutti i requisiti riportati nel precedente §3.1., ed in particolare qualora consenta di compensare carenze o eccedenze di frazioni granulometriche, dovute al materiale immesso nel ciclo, mediante la presenza di adeguate stazioni di vagliatura, in modo tale che, sul nastro trasportatore che alimenta lo stoccaggio finale del prodotto, sia presente un assortimento granulometrico costante, è consentita la riduzione del numero dei prelievi ai fini della caratterizzazione della sua produzione.

Dopo aver provveduto alla qualificazione dell'impianto di produzione di inerti riciclati, ai fini del mantenimento degli standard qualitativi dell'impianto stesso, debbono essere effettuati controlli dell'impianto ogni 20000 m³ di materiale lavorato e, comunque, almeno una volta ogni 6 mesi, da parte di un Laboratorio specializzato.

Il numero di prelievi e di prove potrà essere dimezzato, se, per un anno di osservazioni e per un volume sottoposto a test di almeno 3000 m³ al mese per ciascuna delle dichiarate tipologie di impiego, i risultati delle prove di caratterizzazione hanno evidenziato una costanza di risultati conformi alle specifiche.

Qualora l'impianto sia anche dotato di Laboratorio prove interno, i campioni, sempre dopo un anno di positiva e documentata sperimentazione, possono essere preparati in doppia serie a cura del Laboratorio specializzato esterno. La prima serie sarà sottoposta a prove dal Laboratorio interno; della seconda serie il Laboratorio specializzato esterno sottoporrà a prove un campione ogni 10 o frazione.

Tutti i risultati di ciascuna serie di prove eseguite nel Laboratorio interno, completi del Verbale di esecuzione del prelievo, possono essere approvati se, prescelto a caso un campione su 10, i risultati dei due Laboratori non differiscono di più della ripetibilità della singola prova, definita ufficialmente o, in mancanza, determinata nel corso della sperimentazione. In caso di positivo riscontro delle prove nel Laboratorio interno, le medesime avranno piena validità per tutto l'anno successivo, mantenendosi la cadenza annuale per i controlli comparativi da parte del Laboratorio esterno specializzato.

3.4. - ACCETTAZIONE PER L'IMPIEGO

L'Impresa è tenuta a presentare alla Direzione Lavori, con congruo anticipo rispetto all'inizio delle lavorazioni, la documentazione relativa alla qualificazione dei lotti che intende impiegare, completa

delle certificazioni relative alle analisi effettuate. I risultati devono essere riportati distintamente per ciascuna prova. Il lotto deve essere infine caratterizzato mediante i valori massimi e minimi ottenuti dalle determinazioni sui relativi campioni (ad esempio valore del coefficiente di abrasione "Los Angeles" secondo la Norma UNI EN 1097-2: 35÷42).

La documentazione di qualifica del materiale dovrà essere presentata per ogni lotto che si intende impiegare.

4. – COSTRUZIONE DEL CORPO DEI RILEVATI STRADALI

4.1. - GENERALITÀ

Il corpo stradale, al di fuori dei tratti occupati da opere d'arte maggiori (viadotti e gallerie), si realizza attraverso movimenti di materiali mediante l'apertura di trincee o la costruzione di rilevati.

Si distinguono, più in generale, nei movimenti di materiali le seguenti lavorazioni:

- lo smacchiamento generale (taglio di alberi arbusti e cespugli, estirpazioni delle radici), lo scoticamento e la rimozione del terreno vegetale (o a rilevante contenuto di sostanze organiche);
- gli scavi di sbancamento per l'apertura della sede stradale in trincea, per la predisposizione dei piani di appoggio dei rilevati e per le opere di pertinenza stradali;
- gli scavi a sezione ristretta per l'impianto di opere d'arte, gli scavi subacquei, le demolizioni, gli scavi in roccia;
- la formazione dei rilevati, compreso lo strato superiore su cui poggia la pavimentazione stradale (sottofondo).

Salvo casi speciali, dettati da particolarissime condizioni locali e relativi a ridotte volumetrie, i movimenti di materiali si eseguono con l'impiego di apparecchiature meccaniche specializzate per lo scavo, il trasporto, la stesa ed il costipamento.

4.2. - PIANIFICAZIONE DEI LAVORI

Con riferimento alla verifica del progetto, ai sensi dell'art. 131 del DPR 554/99, ed alle lavorazioni per la formazione del corpo stradale in trincea e in rilevato, l'Impresa deve presentare, per l'approvazione da parte della Direzione Lavori, un programma dettagliato dei movimenti di materia, nonché eseguire un'indagine conoscitiva sulle più idonee modalità di esecuzione dei relativi lavori basata su determinazioni sperimentali di laboratorio e su prove in vera grandezza (v. §4.3.).

Detta indagine si articola di norma come segue:

- rilievo geometrico diretto dell'andamento morfologico del terreno in corrispondenza delle sezioni di progetto e di altre eventuali sezioni intermedie integrative;
- rilievo, attraverso pozzetti stratigrafici, dello spessore di ricoprimento vegetale;
- identificazione della natura e dello stato dei materiali per la valutazione dell'attitudine al particolare impiego, prevedendo le prove di laboratorio di cui ai seguenti paragrafi.

4.3. - CAMPI PROVA

Con la sola eccezione di lavori per i quali i volumi dei movimenti di materiali siano del tutto trascurabili (come tali individuati nel Progetto approvato) e salvo diverse disposizioni della Direzione Lavori, l'Impresa è tenuta a realizzare (per ciò mettendo a disposizione della Direzione Lavori personale e mezzi adeguati) una sperimentazione in vera grandezza (campo prova), allo scopo di definire, sulla scorta dei risultati delle prove preliminari di laboratorio e con l'impiego dei mezzi effettivamente disponibili, gli spessori di stesa ed il numero di passaggi dei compattatori che permettono di raggiungere le prestazioni (grado di addensamento e/o portanza) prescritte.

La sperimentazione in vera grandezza deve riguardare ogni approvvigionamento omogeneo di materiale che si intende utilizzare per la costruzione del corpo stradale.

Il progetto del campo prova, definito nel dettaglio, dovrà essere presentato dall'Impresa e approvato dalla Direzione Lavori.

L'onere economico della sperimentazione in campo prove è compreso nel prezzo d'appalto e, quindi, cade a carico dell'Impresa. Il sito della prova può essere compreso nell'area d'ingombro del corpo stradale, anche in corrispondenza di un tratto di rilevato: in questo caso dopo la sperimentazione è fatto obbligo all'Impresa di demolire le sole parti del manufatto non accettabili rispetto alle prestazioni ad esse richieste nella configurazione finale.

La sperimentazione va completata prima di avviare l'esecuzione dei rilevati, per essere di conferma e di riferimento al programma dettagliato dei movimenti di materia e alle modalità delle lavorazioni; in ogni caso, se applicata a materiali diversi deve precedere, per ciascuno di essi, l'inizio del relativo impiego nell'opera. Analogamente la sperimentazione va ripetuta in caso di variazione del parco macchine o delle modalità esecutive.

A titolo orientativo, per quanto attiene alle modalità operative che dovranno essere dettagliate nel progetto presentato dall'Impresa per l'approvazione alla Direzione Lavori, si segnala che:

- l'area prescelta per la prova in vera grandezza deve essere perfettamente livellata, compattata e tale da presentare caratteristiche di deformabilità analoghe a quelle dei materiali in esame;
- la larghezza della stesa di prova deve risultare almeno pari a tre volte quella del rullo compattatore;
- i materiali vanno stesi in strati di spessore costante (o variabile qualora si voglia individuare lo spessore ottimale), provvedendo a compattarli con regolarità ed uniformità e simulando, durante tutte le fasi di lavoro, le modalità esecutive che poi saranno adottate nel corso dei lavori;
- per ciascun tipo di materiale e per ogni modalità esecutiva, occorre mettere in opera almeno 2 o 3 strati successivi; per ciascuno di essi vanno eseguite le prove di controllo dopo successive passate (ad esempio, dopo 4, 6, 8, passate).

Una prova preliminare di sperimentazione in vera grandezza deve obbligatoriamente essere predisposta quando l'impiego dei materiali riciclati supera complessivamente il volume di 10000 m^3 ; il campo prova deve essere comunque predisposto, anche per volumi inferiori di inerti da riciclo, quando i materiali disponibili presentino caratteristiche fisiche e comportamentali difforni dai requisiti di seguito riportati per ogni specifico impiego, o quando in progetto siano state indicate tipologie di inerti da riciclo differenti da quelle effettivamente reperibili in zona.

Il campo prova deve essere controllato mediante la determinazione dei moduli di deformazione M_d e M_d' (CNR B.U. n.146/92); le misure debbono essere effettuate per ogni strato almeno in cinque punti appartenenti ad una porzione omogenea del manufatto, con interessamento in senso trasversale dell'intera piattaforma. Debbono essere, inoltre, misurati i valori della massa volumica del secco in sito (CNR B.U. n. 22/72), del contenuto d'acqua (CNR UNI 10008/63) nella porzione di materiale in vicinanza dei punti di misura del modulo di deformazione, nonché gli spessori degli strati finiti. Dovranno inoltre essere determinate le granulometrie dei campioni di materiale già costipato per un confronto con le granulometrie effettuate sugli stessi materiali prima della compattazione.

Le prove con piastra a doppio ciclo di carico (CNR B.U. n.146/92) consentiranno la determinazione del rapporto M_d'/M_d tra i moduli di deformazione rispettivamente al secondo ed al primo ciclo di carico. Il valore di tale rapporto potrà costituire un elemento di giudizio, da parte della Direzione Lavori, circa la qualità del costipamento ottenuto.

Nei cantieri di grande dimensione e in ogni caso in cui i controlli in corso d'opera vengano effettuati impiegando prove rapide e/o ad alto rendimento come quelle eseguite tramite il Falling Weight Deflectometer FWD (ASTM D4694/96) che consentono la determinazione del modulo elastico equivalente "E", le indagini preliminari sui rilevati sperimentali sono finalizzate anche a stabilire le necessarie correlazioni tra i valori del grado di addensamento (CNR B.U. n.69/78 e CNR B.U. n.22/72) e/o dei moduli di deformazione M_d e M_d' (CNR B.U. n.146/92) e quelli dei moduli elastici equivalenti "E" determinati tramite il Falling Weight Deflectometer.

I risultati delle prove vanno riportati in apposito Verbale redatto dalla Direzione Lavori, che ne trae le conclusioni sull'accettazione dei materiali sperimentati, delle macchine operatrici e sulle modalità di posa in opera.

4.4. - PIANO PARTICOLAREGGIATO DELLE LAVORAZIONI

In sostanziale aderenza alle previsioni di progetto, per il conseguimento delle prestazioni previste per i manufatti e per le loro singole parti, l'Impresa deve redigere un piano particolareggiato delle lavorazioni, che contenga:

- la specificazione della provenienza dei diversi materiali di cui si compone il corpo stradale nelle sue varie parti, corredata da un bilancio quantitativo che tenga conto delle presumibili variazioni volumetriche connesse alle operazioni di scavo e di costipamento;
- le risorse impegnate nelle lavorazioni programmate, (mezzi, mano d'opera, personale e attrezzature del laboratorio di cantiere, ecc.), la durata e la collocazione temporale dell'impegno;
- le modalità di posa in opera di ciascun materiale, da verificare nel campo prova, in ordine a:
 - spessori di stesa consentiti dai mezzi di costipamento;
 - attitudine dei mezzi d'opera e, in particolare dei compattatori, ad assicurare le prescritte prestazioni;
 - numero di passate e velocità media di avanzamento dei mezzi costipanti;
 - le prevalenti condizioni di umidità naturale dei materiali impiegati all'atto della posa in opera, in relazione alle quali sono dettagliati nel piano gli eventuali procedimenti di umidificazione, deumidificazione, correzione e/o stabilizzazione;
- le modalità esecutive delle operazioni propedeutiche e collaterali alla posa in opera: umidificazione, deumidificazione, sminuzzamento, mescolamento, correzione, stabilizzazione, spargimento;
- la programmazione e la progettazione delle opere di supporto all'esecuzione delle lavorazioni: piste provvisorie, raccordi alla viabilità di accesso al cantiere di lavoro, piazzali di deposito provvisorio;
- eventuali integrazioni o modifiche del progetto per apertura, coltivazione e recupero ambientale delle cave di prelievo e dei siti di deposito, opere di sostegno provvisorio degli scavi, di drenaggio e di difesa dalle acque;
- le modalità di recupero ambientale, di ricopertura di realizzazione di opere in verde a protezione dei pendii dalle erosioni superficiali.

Ogni proposta di variazione del piano particolareggiato dei lavori che si rendesse utile o necessaria in corso d'opera deve essere motivatamente presentata al Direttore dei Lavori e da questi tempestivamente esaminata.

La suddetta programmazione è anche condizione indispensabile per la gestione del cantiere in regime di controllo di qualità della prestazione, ai sensi delle Norme UNI EN ISO serie 9000.

4.5. - PIANO DI POSA

4.5.1 – PREPARAZIONE DEL TERRENO DI SEDIME

Immediatamente prima della costruzione del corpo del rilevato, l'Impresa deve procedere alla rimozione e all'asportazione della terreno vegetale, facendo in modo che il piano di imposta risulti quanto più regolare possibile, privo di avvallamenti e, in ogni caso, tale da evitare il ristagno di acque piovane. Durante i lavori di scoticamento si deve evitare che i mezzi possano rimaneggiare i terreni di impianto.

Ogni qualvolta il corpo del rilevato deve poggiare su un declivio con pendenza superiore al 15% circa, anche in difformità dal Progetto, il piano particolareggiato delle lavorazioni prevederà che, ultimata l'asportazione del terreno vegetale, fatte salve altre più restrittive prescrizioni derivanti dalle specifiche condizioni di stabilità globale del pendio, si deve procedere alla sistemazione a gradoni del piano di appoggio con superfici di posa in leggera contropendenza ($1 \div 2\%$). Per la continuità spaziale delle gradonature si deve curare, inoltre, che le alzate verticali si corrispondano, mantenendo costante la loro distanza dall'asse stradale. Inoltre, le gradonature debbono risultare di larghezza contenuta, compatibilmente con le esigenze di cantiere e le dimensioni delle macchine per lo scavo.

In corrispondenza di allargamenti di rilevati esistenti il terreno costituente il corpo del rilevato, sul quale addossare il nuovo materiale, deve essere ritagliato a gradoni orizzontali, avendo cura di procedere per fasi, in maniera tale da far seguire ad ogni gradone (di alzata non superiore a 50 cm) la stesa ed il costipamento del corrispondente strato di ampliamento di pari altezza.

L'operazione di gradonatura deve essere sempre preceduta dalla rimozione dello strato di terreno vegetale e deve essere effettuata immediatamente prima della costruzione del corpo del rilevato, per evitare l'esposizione alle acque piovane dei terreni denudati.

La regolarità del piano di posa dei rilevati, previa ispezione e controllo, deve essere approvata da parte della Direzione Lavori che, nell'occasione e nell'ambito della discrezionalità consentita, può richiedere l'approfondimento degli scavi di sbancamento, per bonificare eventuali strati di materiali torbosi o coesivi (di portanza insufficiente o suscettibili di futuri cedimenti), o anche per asportare strati di terreno rimaneggiati o rammolliti per inadeguata organizzazione dei lavori e negligenza da parte dell'Impresa.

4.5.2. - TERRENI CEDEVOLI

Quando siano stimabili cedimenti dei piani di posa eccedenti i 15 cm, l'Impresa deve prevedere, nel piano dettagliato, un programma per il loro controllo ed il monitoraggio della loro evoluzione nel tempo. La posa in opera delle apparecchiature necessarie (piastre assestometriche) e le misurazioni dei cedimenti sono eseguite a cura dell'Impresa, secondo le indicazioni della Direzione Lavori.

La costruzione del rilevato deve essere programmata in maniera tale che il cedimento residuo ancora da scontare, al termine della sua costruzione, risulti inferiore al 10% del cedimento totale stimato e comunque minore di 5 cm.

L'Impresa è tenuta a reintegrare i maggiori volumi di rilevato per il raggiungimento delle quote di progetto, ad avvenuto esaurimento dei cedimenti, senza per ciò chiedere compensi aggiuntivi.

4.5.3. - REQUISITI DI PORTANZA

Salvo diverse e più restrittive prescrizioni motivate, in sede di progettazione, dalla necessità di garantire la stabilità del rilevato, il modulo di deformazione M_d , determinato sul piano di posa (naturale o bonificato) del rilevato, secondo la norma CNR B.U. n.146/92, al primo ciclo di carico e nell'intervallo compreso tra $0,05 \div 0,15 \text{ N/mm}^2$, deve risultare non inferiore a:

- ♦ 15 N/mm^2 (valore minimo per consentire il corretto costipamento degli strati soprastanti),

quando la distanza del piano di posa rispetto al piano di appoggio della pavimentazione è maggiore di 2,00 m;

- ♦ 20 N/mm², quando la distanza del piano di posa del rilevato rispetto al piano di appoggio della pavimentazione è compresa tra 1,00 e 2,00 m;
- ♦ per distanze del piano di posa del rilevato rispetto al piano di posa della pavimentazione inferiori a 1,00 si rimanda al seguente § 5. relativo alla "Costruzione dei sottofondi".

Le caratteristiche di portanza del piano di posa del rilevato devono essere accertate in condizioni di umidità rappresentative delle situazioni climatiche e idrogeologiche più sfavorevoli, di lungo termine, con la frequenza stabilita dalla Direzione Lavori in relazione all'importanza dell'opera, all'omogeneità del terreno di posa e, comunque, in misura non inferiore ad una prova ogni 5000 m². Per i materiali a comportamento "instabile" (collassabili, espansivi, gelivi, etc.) la determinazione del modulo di deformazione deve essere effettuata in condizioni di saturazione del materiale interessato.

4.5.4. – BONIFICHE DEL TERRENO DI SEDIME

Quando la natura e lo stato dei terreni di impianto dei rilevati non consentono di raggiungere con il solo costipamento i valori di portanza richiesti nel precedente §4.5.3., può essere introdotto nel programma dettagliato delle lavorazioni l'approfondimento degli scavi per la sostituzione di un opportuno spessore del materiale esistente con idonei materiali di apporto. L'opportunità di realizzare questo tipo di lavorazione sarà valutata sulla base di un'analisi geotecnica del problema, che ne dimostri la necessità. Qualora si rendesse necessaria la realizzazione di tale strato è indispensabile definire, sempre mediante un'analisi geotecnica, le caratteristiche dimensionali dell'intervento (spessore ed estensione). L'idoneità dei materiali riciclati da impiegare per la realizzazione di strati di bonifica dei piani di appoggio dei rilevati sarà valutata sulla base dei requisiti richiesti ai materiali da impiegare nella formazione del corpo dei rilevati (di cui al presente § 4) nel caso in cui gli strati di bonifica si trovino a distanza superiore a 1,00 m dal piano di posa della pavimentazione.

4.5.5 - STRATI ANTICAPILLARI

Gli strati anticapillari sono strati di rilevato costituiti da materiali granulari ad elevata permeabilità eventualmente protetti da geotessili con funzione anticontaminante.

Lo strato anticapillare in materiale riciclato, dello spessore generalmente compreso tra 30 e 50 cm, deve essere costituito da elementi granulari con granulometria compresa tra 2 e 50 mm, con passante al setaccio da 2 mm non superiore al 15% in massa e, comunque, con un passante al setaccio da 0,063 mm non superiore al 3%.

Il materiale deve risultare del tutto esente da componenti instabili (gelive, tenere, solubili, etc.) e da componenti vegetali.

Il controllo qualitativo dello strato anticapillare va effettuato mediante analisi granulometriche da eseguirsi in ragione di almeno 1 prova ogni 1000 m³ di materiale posto in opera, salvo maggiori e più restrittive verifiche disposte dalla Direzione dei Lavori.

Tutti gli altri requisiti qualitativi dei materiali riciclati da impiegare per la realizzazione di questi strati saranno valutati sulla base dei requisiti richiesti ai materiali da impiegare nella formazione del corpo dei rilevati (di cui al presente §.4) nel caso in cui gli strati anticapillari si trovino a distanza superiore a 1,00 m dal piano di posa della pavimentazione o dei requisiti richiesti ai materiali destinati alla formazione dei sottofondi (di cui al successiva §.5) nel caso in cui tali strati siano ubicati a distanza inferiore a 1,00 m dal piano di posa della pavimentazione.

4.6. – AGGREGATI

L'intrinseca variabilità di provenienza dei materiali che compongono gli aggregati riciclati impone di caratterizzarli qualificandoli per lotti omogenei, allo scopo di evitare disuniformità di comportamento dopo la messa in opera (v. §3.).

I requisiti di accettazione degli inerti riciclati di seguito riportati si riferiscono all'impiego nella costruzione degli strati del corpo del rilevato e di bonifiche del piano di posa degli stessi. Si precisa che per corpo del rilevato di che trattasi si intende la porzione di rilevato posta a distanza superiore ad 1 m dal piano di posa della sovrastruttura stradale.

4.6.1. – REQUISITI FISICO – MECCANICI

Le miscele di materiali riciclati provenienti da attività di costruzione e demolizione devono rispettare i requisiti indicati nella **Tabella 4.1**. Ai fini del loro impiego l'Impresa è tenuta a predisporre, per ogni lotto di materiale, la qualificazione dello stesso tramite certificazione rilasciata da un Laboratorio specializzato.

Tabella 4.1 – Aggregati da costruzione e demolizione per il corpo dei rilevati

Componenti	Modalità di prova	Limiti
Contenuto di materiali litici di qualunque provenienza, pietrisco tolto d'opera, calcestruzzi, laterizi, refrattari, prodotti ceramici, malte idrauliche ed aeree, intonaci	UNI EN 13285 Appendice A	> 70% in massa
Contenuto di conglomerati bituminosi	UNI EN 13285 Appendice A	• 25% in massa
Contenuto di vetro e scorie vetrose	UNI EN 13285 Appendice A	• 15% in massa
Contenuto di altri rifiuti minerali dei quali sia ammesso il recupero nel corpo stradale ai sensi della legislazione vigente	UNI EN 13285 Appendice A	• 15% in massa e • 5% per ciascuna tipologia
Contenuto di materiali deperibili o materiali plastici cavi (carta, legno, fibre tessili, cellulosa, sostanze organiche eccetto il bitume, residui alimentari, corrugati, tubi, parti di bottiglie in plastica, ecc.)	UNI EN 13285 Appendice A	• 0,1% in massa
Contenuto di altri materiali (metalli, guaine, gomme, lana di roccia o di vetro, gesso, ecc.)	UNI EN 13285 Appendice A	• 0,6% in massa
Parametri	Modalità di prova	Limiti
Indice di plasticità	CNR UNI 10014	• 6%
Passante al setaccio 63 mm	UNI EN 933-1	> 85% in massa
Passante al setaccio 4 mm	UNI EN 933-1	• 60% in massa
Passante al setaccio 0,063 mm	UNI EN 933-1	• 25% in massa
Dimensione massima D_{max}	UNI EN 933-1	125 mm
Trattenuto setaccio 63 mm	Frantumazione	Assenza di vuoti interni

4.6.2. - REQUISITI CHIMICI

I materiali riciclati debbono appartenere prevalentemente alle tipologie 7.1., 7.2., 7.11. e 7.17. previste dal D.M. 05/02/98, n.72. Non sono ammessi materiali contenenti amianto e/o sostanze pericolose e nocive o con significativi contenuti di gesso. Pertanto, tali materiali debbono essere sottoposti ai test di cessione sul rifiuto come riportato in Allegato 3 del citato D.M. del 05/02/98, o a test equivalente di riconosciuta valenza europea (UNI 10802/2002).

Il contenuto totale di solfati e solfuri (Norma UNI EN 1744-1) deve essere ≤ 1 %. Se il materiale viene posto in opera a contatto con strutture in cemento armato, tale valore deve essere $\leq 0,5$ %.

4.7. - POSA IN OPERA

La stesa del materiale deve essere eseguita con regolarità per strati di spessore costante, con modalità e attrezzature atte a evitare segregazione, brusche variazioni granulometriche e del contenuto d'acqua.

Per evitare disomogeneità dovute alla segregazione che si verifica durante lo scarico dai mezzi di trasporto, il materiale deve essere depositato subito a monte della superficie d'impiego, per esservi successivamente riportato tramite mezzi di stesa.

La granulometria dei materiali costituenti i diversi strati del rilevato deve essere la più omogenea possibile. In particolare, deve evitarsi di porre in contatto strati di materiale a granulometria poco assortita o uniforme (tale, cioè, da produrre nello strato compattato elevata percentuale dei vuoti), a strati di materiali a grana più fine che, durante l'esercizio, per effetto delle vibrazioni prodotte dal traffico, possano penetrare nei vuoti degli strati sottostanti, provocando cedimenti per assestamento del corpo del rilevato. In ogni caso, il materiale non deve presentare elementi di dimensioni maggiori di 140 mm; questi debbono essere, pertanto, scartati all'impianto di prelievo, prima del carico sui mezzi di trasporto.

Ciascuno strato può essere messo in opera, pena la rimozione, soltanto dopo avere accertato, mediante prove di controllo, l'idoneità dello strato precedente.

Lo spessore sciolto di ogni singolo strato è stabilito in ragione delle caratteristiche dei materiali, delle macchine e delle modalità di compattazione, sperimentate in campo prove, secondo le indicazioni riportate nel §4.3. Le operazioni di compattazione debbono essere determinate mediante la messa a punto degli schemi di rullatura che debbono essere definiti prima dell'inizio dei lavori.

Lo spessore di stesa di norma deve risultare non inferiore a due volte la dimensione massima degli aggregati impiegati.

Il materiale deve essere steso in strati di ridotto spessore, comunque non superiore a 30 cm, e costipato mediante rullatura. La superficie degli strati, a compattazione avvenuta, deve avere una pendenza trasversale pari a circa il 4% e, comunque, tale da garantire lo smaltimento delle acque meteoriche e deve essere evitata la formazione di avvallamenti o solchi. Detta pendenza deve essere mantenuta durante il lavoro e il transito dei mezzi di cantiere, impiegando allo scopo livellatrici o macchine equivalenti.

L'utilizzo di materiali da riciclo per la realizzazione del corpo dei rilevati è consentito purché interessi tutta l'impronta del rilevato stesso. Non sono ammesse alternanze di strati di materiali da riciclo e di terre, anche se appartenenti ad uno dei gruppi A₁, A₂₋₄, A₂₋₅, A₃ della classificazione di cui alla Norma UNI 10006/2002. Il rilevato, quindi, deve essere costituito al massimo da due fasce di materiale differenti (riciclato e non) in senso verticale; in senso orizzontale, invece, deve essere comunque garantita l'omogeneità dei materiali utilizzati.

Il piano particolareggiato delle lavorazioni indicherà i siti di impiego dei materiali riciclati confinandoli preferibilmente tra opere quali tombini, attraversamenti, opere d'arte ecc., onde evitare che, al contatto con materiali di caratteristiche differenti, si formino giunti o superficie di discontinuità. Potrà altresì prevedere la parzializzazione del corpo del rilevato, destinando gli inerti da riciclo esclusivamente al nucleo centrale, ed utilizzando terre tradizionali (appartenenti ad uno

dei gruppi prima citati) per le fasce laterali. In tal caso i terreni di contronucleo vanno posti in strati di spessore pari a quelli realizzati con le materie da riciclo.

4.8. - COMPATTAZIONE

Nel rispetto delle previsioni di progetto e delle disposizioni che possono essere date in corso d'opera dalla Direzione Lavori, l'Impresa è tenuta a fornire e, quindi, ad impiegare mezzi di costipamento adeguati alla natura dei materiali da mettere in opera e, in ogni caso, tali da permettere di ottenere i requisiti di massa volumica, di portanza e prestazionali richiesti per gli strati finiti.

Per il migliore rendimento energetico dei mezzi di costipamento è opportuno sceglierne la tipologia più idonea (rulli lisci statici, rulli lisci vibranti, rulli gommati, rulli a piedi costipanti) ed operare con umidità prossima a quella ottimale determinata in laboratorio mediante la prova AASHO Mod. (CNR B.U. n.69/78 o UNI EN 13286-2/2005). L'attitudine delle macchine di costipamento deve essere verificata in campo prova per ogni tipo di materiale che si prevede di impiegare. La loro produzione, inoltre, deve risultare compatibile con quella delle altre fasi (scavo, trasporto e stesa) e con il programma temporale stabilito nel piano particolareggiato dei movimenti di materia (v. §4.4.).

Le macchine di costipamento, la loro regolazione (velocità, massa, pressione di gonfiaggio dei pneumatici, frequenza di vibrazione, ecc.), gli spessori degli strati ed il numero di passaggi, debbono rispettare le condizioni stabilite nel corso della sperimentazione in campo prova. In ogni caso l'efficacia del processo ed il conseguimento degli obiettivi restano nell'esclusiva responsabilità dell'Impresa.

Se non occorre modificare il contenuto d'acqua, una volta steso il materiale, lo strato deve essere immediatamente compattato.

La compattazione deve assicurare sempre un addensamento uniforme all'interno dello strato. Per garantire una compattazione uniforme, anche lungo i bordi del rilevato, le scarpate debbono essere riprofilate, una volta realizzata l'opera, rimuovendo i materiali eccedenti la sagoma di progetto. La stesa ed il costipamento del materiale, pertanto, deve considerare una sovrallarghezza di almeno 0,50 m, per entrambi i lati del rilevato.

Salvo diverse prescrizioni motivate in sede di Progetto, i controlli di qualità degli strati finiti, effettuati mediante misure di massa volumica, di portanza e prestazionali, debbono soddisfare i requisiti indicati nel successivo §4.10. "Controlli". Durante la costruzione del corpo dei rilevati occorre provvedere tempestivamente alla riparazione di danni causati dal traffico di cantiere oltre a quelli dovuti alla pioggia e al gelo.

4.9. - PROTEZIONE

Si deve garantire la sistematica e tempestiva protezione delle scarpate mediante la stesa di uno strato di terreno vegetale di circa 30 cm di spessore; questo andrà sistemato a strisce orizzontali, opportunamente assestato. Per la sua necessaria ammorsatura si debbono predisporre gradoni di ancoraggio, salvo il caso in cui il rivestimento venga eseguito contemporaneamente alla formazione del rilevato. Il terreno vegetale deve essere tale da assicurare il pronto attecchimento e sviluppo del manto erboso, seminato tempestivamente, con essenze (erbe ed arbusti del tipo previsto in Progetto) scelte per ottenere i migliori risultati in relazione al periodo operativo ed alle condizioni locali.

La semina deve essere ripetuta fino ad ottenere un adeguato ed uniforme inerbimento.

Qualora si dovessero manifestare erosioni di qualsiasi entità, l'Impresa deve provvedere al ripristino delle zone ammalorate a sua cura e spese.

Nel caso in cui si preveda un'interruzione dei lavori per più giorni, l'Impresa è tenuta ad adottare ogni provvedimento per evitare infiltrazioni di acque meteoriche nel corpo del rilevato. Allo scopo, le superfici, ben livellate e compattate, debbono risultare sufficientemente chiuse e presentare

pendenza trasversale non inferiore al 4%.

Se dovessero verificarsi cedimenti differiti, dovuti a carenze costruttive, l'Impresa è obbligata ad eseguire a sue spese i lavori di ricarico.

Nel caso di sospensione prolungata della costruzione, alla ripresa delle lavorazioni la parte di manufatto già eseguita deve essere ripulita dalle erbe e dalla vegetazione che vi si fosse insediata; inoltre lo strato superiore deve essere scarificato, praticandovi dei solchi per il collegamento dei nuovi strati. In questo caso è opportuno ripetere le prove di controllo dell'addensamento, della portanza e delle caratteristiche prestazionali.

4.10. - CONTROLLI

4.10.1. - CONTROLLO DELLE FORNITURE

In corso d'opera, sia per le necessità connesse alla costruzione degli strati, particolarmente per quanto riguarda il costipamento, sia per valutare che non abbiano a verificarsi variazioni nella qualità dei materiali, devono essere effettuate prove di controllo su campioni prelevati in contraddittorio con la Direzione dei Lavori.

Il numero dei campioni dipende dall'eterogeneità dei materiali interessati; per ogni approvvigionamento omogeneo la numerosità delle prove di attitudine deve rispettare i criteri quantitativi riportati nella **Tabella 4.3**, salvo diverse e documentate prescrizioni della Direzione dei Lavori.

Tabella 4.3
Frequenza dei controlli delle forniture dei materiali per il corpo dei rilevati

Controllo	Primi 5000 m ³	Ulteriori m ³
Controllo dei requisiti di cui alla Tabella 4.1	ogni 500 m ³	ogni 3000 m ³
Umidità naturale	ogni 500 m ³ (*)	ogni 1000 m ³ (*)
Costipamento AASHO (CNR B.U. n.69/78 o UNI EN 13286-2/2005)	ogni 500 m ³	ogni 3000 m ³
(*) e comunque rapportate alle condizioni meteorologiche locali e all'omogeneità dei materiali messi in opera		

4.10.2. - CONTROLLI PRESTAZIONALI SUGLI STRATI FINITI

Il livello prestazionale degli strati posti in opera deve essere accertato, in relazione alla granulometria del materiale impiegato, attraverso il controllo dell'addensamento raggiunto, rispetto al riferimento desunto dalle prove di addensamento AASHO Mod. di laboratorio, e attraverso il controllo della capacità portante.

Le prove di controllo della portanza devono essere effettuate mediante misure del modulo di deformazione M_d , al primo ciclo di carico, secondo quanto previsto dalla norma CNR B.U. n.146/92.

Il controllo mediante misure di massa volumica in sito (CNR B.U. n.22/72) per la successiva verifica del grado di addensamento può essere applicato soltanto se, come previsto dalla norma CNR B.U. n.69/78, la frazione di materiale trattenuto al setaccio da 20 mm UNI EN 932-2 non supera il 35% della massa totale. In questo caso il controllo può essere effettuato previa correzione del peso di volume del secco in sito, per tenere conto della presenza di elementi di dimensioni maggiori di 20 mm, determinando la massa volumica in sito tramite la relazione:

$$\gamma_{d,sito} = \frac{P_d - P'_d}{V - V'}$$

- P_d : massa totale dopo essiccazione del materiale prelevato;
 V : volume totale occupato in sito dal materiale prelevato;
 P'_d : massa del secco della frazione trattenuta al setaccio UNI EN 20 mm;
 $V' = P'_d / \gamma_s$: volume della frazione trattenuta al setaccio UNI EN 20 mm;
 γ_s : massa volumica apparente della frazione trattenuta al setaccio UNI EN 20 mm.

Quando per le caratteristiche dimensionali del materiale non sia possibile procedere al controllo prestazionale con misure di massa volumica (non essendo possibile determinare riferimenti rappresentativi da prove di costipamento AASHO Mod. di laboratorio), per valutare il grado di costipamento la Direzione Lavori può prescrivere l'esecuzione di prove di modulo a doppio ciclo di carico (CNR B.U. 146/92).

La determinazione del modulo al secondo ciclo di carico permette, in ogni caso, di ottenere più ampi elementi di giudizio sulla qualità meccanica degli strati posti in opera, ivi compresi quelli sottostanti lo strato esaminato. Il rapporto tra il valore del modulo di deformazione M_d' al secondo ciclo di carico ed il valore del modulo di deformazione M_d al primo ciclo di carico dovrà, in ogni caso, essere non superiore a 2,5. La prova di carico a doppio ciclo risulta inoltre necessaria quando le prove di portanza non sono eseguite immediatamente dopo l'ultimazione del costipamento e, pertanto, è ragionevole temere che le misure al primo ciclo possano risultare influenzate dal disturbo prodotto dagli agenti atmosferici sulla parte più superficiale dello strato.

In alternativa, o anche ad integrazione delle misure di modulo di deformazione, il controllo della portanza degli strati finiti può essere effettuato mediante misure di deflessione, operando con mezzi ad alto rendimento come il Falling Weight Deflectometer FWD (ASTM D4694/96) che consente la determinazione del modulo di elastico equivalente "E". Le soglie da raggiungere debbono essere determinate, preliminarmente, sulla base delle correlazioni stabilite in campo prova tra il modulo "E" e il modulo di deformazione M_d , tenuto conto della struttura da realizzare e del materiale in esame. Le misure di deflessione risultano, generalmente, assai più rapide dalle misure di modulo di deformazione e, pertanto, possono essere convenientemente predisposte per ottenere una rappresentazione della variazione della portanza sull'intera estensione dello strato esaminato, sia in senso longitudinale, sia in senso trasversale, se ciò è ritenuto necessario, come nel caso degli ampliamenti e delle sezioni a mezza costa. Queste determinazioni possono inoltre rappresentare la base per la scelta dei punti in cui effettuare misure del modulo di deformazione M_d se occorre determinare la distribuzione spaziale della portanza degli strati di rilevato realizzati, finalizzata al sezionamento del rilevato in tronchi omogenei di portanza.

Dato che la portanza di una materiale granulare dipende dal suo contenuto d'acqua in misura più o meno maggiore in relazione alla natura del materiale stesso, i livelli prestazionali indicati nella **Tabella 4.4** si riferiscono a contenuti d'acqua "w" compresi tutti nell'intervallo:

$$w_{ott} - 2,0\% < w < w_{ott} + 2,0\%$$

(w_{ott} = umidità ottima di costipamento ricavata con prove AASHO Mod.)

Se il contenuto d'acqua "w" del materiale al momento delle prove dovesse risultare esterno all'intervallo sopra specificato, la capacità portante può essere stimata a partire dalle relative misure effettuate tenendo opportunamente conto dell'influenza dell'umidità. Ciò richiede che per il dato materiale siano determinate preliminarmente nel campo prova le correlazioni tra la capacità portante e l'umidità del materiale stesso.

Quando le suddette correlazioni non siano state determinate, nel caso delle prove di carico con piastra (o di deflessione tramite FWD) occorre ricondurre il contenuto d'acqua del materiale (per uno spessore di almeno 15 cm) all'interno dell'intervallo sopraindicato.

Tabella 4.4

Criteri di qualità e requisiti prestazionali per gli strati del corpo del rilevato ⁽¹⁾

TRAFFICO	Grado di addensamento $\gamma_{d,sito}/\gamma_{dmax,laboratorio}$ [%]	Modulo di deformazione M_d [N/mm ²] ⁽²⁾	M_d' / M_d ⁽³⁾	"E" determinato tramite F.W.D.
P e PP	≥ 92 % AASHO Mod.	≥ 30	• 2,5	$\geq$ del valore determinato in campo prove
L e M	≥ 90 % AASHO Mod.	≥ 25	• 2,5	$\geq$ del valore determinato in campo prove
⁽¹⁾ Strati posti a più di 1,0 m dal piano di posa della pavimentazione; ⁽²⁾ Determinato al primo ciclo di carico nell'intervallo di pressione tra 0,05 e 0,15 N/mm ² ; ⁽³⁾ Ove prescritto dalla Direzione Lavori.				

Le prove di controllo vanno ubicate nei punti indicati dalla Direzione Lavori e formano oggetto di apposito Verbale.

4.10.3. – FREQUENZA DEI CONTROLLI DEGLI STRATI FINITI

Salvo diverse e documentate prescrizioni della Direzione Lavori, la frequenza delle prove di controllo degli strati finiti deve rispettare quanto previsto nella seguente **Tabella 4.5**.

Tabella 4.5
Frequenza dei controlli sugli strati finiti del corpo del rilevato ⁽¹⁾

Controllo	Primi 5.000 m ³	Ulteriori m ³
Grado di addensamento	ogni 1000 m ³	ogni 3000 m ³
Modulo di deformazione M_d	ogni 1000 m ³	ogni 3000 m ³
Rapporto M_d / M_d'	ogni 1000 m ³	ogni 3000 m ³
Modulo elastico equivalente E con FWD	ogni 1000 m ³	ogni 3000 m ³
⁽¹⁾ Strati posti a più di 1,0 m dal piano di posa della pavimentazione.		

4.11. - TOLLERANZE

4.11.1. – TOLLERANZE DEI RISULTATI DELLE PROVE DI CONTROLLO

Per ciascun tipo di prova di controllo, nel caso in cui il numero delle misure risulti inferiore a 5, come può avvenire per lavori di entità molto modesta, tutti i valori misurati debbono rispettare le soglie minime riportate nella **Tabella 4.4**.

Negli altri casi si può accettare che su n. 5 risultati d'una stessa prova di controllo 1 risultato possa non rispettare i valori minimi richiesti, purché lo scostamento da tali valori minimi non ecceda:

- § il 5%, per le misure del grado di addensamento;
- § il 10%, per le misure dei moduli M_d e M_d' ;

Per le prove deflettometriche ad alto rendimento la media dei valori del modulo "E" ricavata da almeno 20 determinazioni non dovrà essere inferiore ai valori minimi prestabiliti. Può essere tollerato uno scostamento da tali valori minimi purché lo scostamento stesso non ecceda il 20%.

4.11.2. – TOLLERANZE DELLE GIACITURE DEI PIANI REALIZZATI RISPETTO A QUELLE DI PROGETTO

L'Impresa è tenuta a rispettare le seguenti tolleranze d'esecuzione sui piani finiti:

- § $\pm 2\%$ per la pendenza delle scarpate di trincea e di rilevato;
- § ± 5 cm, per i piani di appoggio degli strati di sottofondo;
- § ± 10 cm, per i piani delle scarpate, rivestite o non con terra vegetale.

La misura di queste tolleranze va eseguita mediante regolo rigido di 4 m di lunghezza (Norma UNI EN 13036-7/2004), disposto secondo due direzioni ortogonali; gli scostamenti vanno letti in direzione normale ai piani considerati.

I controlli di esecuzione delle scarpate e dei piani di posa degli strati di sottofondo sono effettuati di norma ogni 500 m².

5. – COSTRUZIONE DEI SOTTOFONDI STRADALI

5.1. - GENERALITÀ

Il sottofondo è il volume di materiale nel quale risultano ancora sensibili le sollecitazioni indotte dal traffico stradale e trasmesse dai sovrastanti strati della pavimentazione; rappresenta la zona di transizione fra il terreno in sito (nelle sezioni in trincea o a raso campagna) ovvero tra il corpo del rilevato e la sovrastruttura.

Per assicurare i requisiti richiesti ai sottofondi delle sovrastrutture stradali, particolarmente per quanto riguarda la portanza (nello spazio e nel tempo) e la regolarità della superficie finita, è necessario prevedere la sistemazione dei sottofondi, generalmente mediante la realizzazione di uno strato di caratteristiche idonee a garantire l'omogeneità richiesta per i piani di posa delle sovrastrutture stesse.

Questo strato (strato più superficiale del rilevato o del fondo naturale della trincea, di spessore di circa 100 cm) deve garantire le seguenti prestazioni:

- costituire un supporto alla sovrastruttura dotato di capacità portante omogenea e sufficiente a garantire i livelli di stabilità e di funzionalità ammessi in Progetto per la sovrastruttura stessa;
- proteggere, in fase di costruzione, gli strati sottostanti dall'infiltrazione di acqua piovana e, durante l'esercizio, lo strato di fondazione sopraposte dalle risalite di materiale fine inquinante.

In termini generali, lo spessore totale dello strato di sottofondo (da realizzare, a seconda dei casi, con la stesa ed il costipamento di uno o più strati) dipende dalla natura del materiale utilizzato, dalla portanza del suo supporto e da quella assunta in Progetto per il piano di posa della sovrastruttura.

Per la scelta del materiale e per i provvedimenti costruttivi occorre tenere conto, inoltre, dei rischi d'imbibizione di questo strato (derivanti dalla presenza di una falda superficiale nel caso delle trincee), delle condizioni climatiche previste in fase costruttiva (precipitazioni) ed in fase di esercizio (gelo), nonché del prevedibile traffico dei mezzi di cantiere e delle necessità connesse alla costruzione dei sovrastanti strati della pavimentazione.

5.2. - PIANIFICAZIONE DEI LAVORI

Con riferimento alla verifica del Progetto, ai sensi dell'Art.131 del DPR 554/99, ed alle lavorazioni per la realizzazione dei sottofondi, l'Impresa deve presentare, per l'approvazione da parte della Direzione Lavori, un programma dettagliato dei movimenti di materia, nonché eseguire un'indagine conoscitiva sulle più idonee modalità di esecuzione dei relativi lavori, basata su determinazioni sperimentali di laboratorio e su prove in vera grandezza (v. §5.3.).

Nel caso delle sezioni in trincea e a mezza costa, detta indagine si articola di norma come segue:

- rilievo geometrico diretto dell'andamento morfologico del terreno in corrispondenza delle sezioni di Progetto e di altre eventuali sezioni intermedie integrative;
- rilievo, attraverso pozzetti stratigrafici, dello spessore di ricoprimento vegetale;
- identificazione della natura e dello stato dei materiali per la valutazione dell'attitudine al particolare impiego, prevedendo le prove di laboratorio di cui ai seguenti paragrafi.

5.3. - CAMPI PROVA

Con la sola eccezione di lavori per i quali i volumi dei movimenti di materiali da mettere in opera siano del tutto trascurabili (come tali individuati nel Progetto approvato) e salvo diverse disposizioni della Direzione dei Lavori, l'Impresa è tenuta a realizzare (per ciò mettendo a disposizione della Direzione Lavori personale e mezzi adeguati) una sperimentazione in vera grandezza (campo prova), allo scopo di definire, sulla scorta dei risultati delle prove preliminari di laboratorio e con l'impiego dei mezzi effettivamente disponibili, gli spessori di stesa ed il numero di passaggi dei compattatori che permettono di raggiungere il grado di addensamento, la portanza e le caratteristiche prestazionali prescritte.

Il progetto del campo prova, definito nel dettaglio, dovrà essere presentato dall'Impresa e approvato dalla Direzione Lavori.

La sperimentazione in vera grandezza deve riguardare ogni approvvigionamento omogeneo di materiale che si intende utilizzare per la costruzione del sottofondo.

L'onere economico di questa sperimentazione è compreso nel prezzo d'appalto e, quindi, cade a carico dell'Impresa. Il sito della prova può essere ubicato su un'area del piano di posa dei sottofondi: in questo caso dopo la sperimentazione è fatto obbligo all'Impresa di demolire le sole parti del sottofondo stesso non accettabili sulla base delle prestazioni ad esse richieste nella configurazione finale.

La sperimentazione va completata prima di avviare l'esecuzione dei sottofondi, per essere di conferma e di riferimento al piano delle modalità delle lavorazioni; in ogni caso, se applicata a materiali diversi deve precedere, per ciascuno di essi, l'inizio del relativo impiego. Analogamente la sperimentazione va ripetuta in caso di variazione del parco macchine o delle modalità esecutive.

A titolo orientativo, per quanto attiene alle modalità operative da dettagliare nel progetto presentato dall'Impresa per l'approvazione alla Direzione Lavori, si segnala che:

- l'area prescelta per le prove in vera grandezza deve essere perfettamente livellata, compattata e tale da presentare caratteristiche di deformabilità pari a quelle previste per il piano di posa dei sottofondi;
- la larghezza della stesa di prova deve risultare almeno pari a tre volte quella del rullo;
- il materiale va steso in strati di spessore costante, compattandoli con regolarità ed uniformità e simulando le modalità esecutive che poi saranno osservate nel corso dei lavori;
- per ciascun tipo di materiale e per ogni modalità esecutiva, vanno eseguite prove di controllo dopo successive passate del rullo addensante (ad esempio, dopo 2, 4, 6, 8, passate).

Una serie di prove preliminari di sperimentazione in vera grandezza deve obbligatoriamente essere predisposta quando l'impiego dei materiali riciclati supera complessivamente il volume di 5000 m³; comunque le prove preliminari devono essere predisposte anche per volumi inferiori, quando i materiali disponibili presentino caratteristiche fisiche e comportamentali difforni dai requisiti di seguito riportati o quando in Progetto siano state indicate tipologie di inerti da riciclo differenti da quelle effettivamente reperibili.

Le prove consistono nella determinazione dei moduli M_d e M_d' mediante prove di carico con piastra (CNR B.U. n.146/92) e dei moduli "E" ottenuti con il Falling Weight Deflectometer (ASTM D4694/96); le misure debbono essere effettuate in cinque punti appartenenti ad una porzione omogenea di strato, con interessamento in senso trasversale dell'intero piano di posa. Inoltre vanno misurati i valori della massa volumica del secco in sito (CNR B.U. n.22/72), del contenuto d'acqua (CNR UNI 10008/63) nella porzione di materiale prossima ai punti di misura del modulo di deformazione e dello spessore degli stati finiti. Dovranno inoltre essere effettuate prove granulometriche su campioni di materiale già costipato per un confronto con le granulometrie determinate sui materiali prima della messa in opera.

Le prove con piastra a doppio ciclo di carico (CNR B.U. n.146/92) consentiranno la determinazione del rapporto M_d'/M_d tra i moduli di deformazione al secondo ed al primo ciclo di carico. Il valore di tale rapporto potrà costituire un elemento di giudizio, da parte della Direzione Lavori, circa la

qualità del costipamento ottenuto.

Nei cantieri di grande dimensione e in ogni caso in cui i controlli in corso d'opera vengano effettuati impiegando prove rapide e/o ad alto rendimento come quelle eseguite tramite il Falling Weight Deflectometer FWD (ASTM D4694/96) che consentono la determinazione del modulo elastico equivalente "E", le indagini preliminari sui sottofondi sperimentali sono finalizzate anche a stabilire le necessarie correlazioni tra i valori del grado di addensamento (CNR B.U. n.69/78 e CNR B.U. n.22/72) e/o dei moduli di deformazione M_d e M_d' (CNR B.U. n.146/92) e quelli dei moduli elastici equivalenti "E" determinati tramite il Falling Weight Deflectometer (ASTM D4694/96).

I risultati delle prove vanno riportati in apposito Verbale redatto dalla Direzione Lavori, che ne trae le conclusioni sull'accettazione del materiale sperimentato, delle macchine operatrici e sulle modalità di posa in opera.

5.4. - PIANO PARTICOLAREGGIATO DELLE LAVORAZIONI

In sostanziale aderenza alle previsioni di progetto, per il conseguimento delle prestazioni previste per i manufatti e per le loro singole parti, l'Impresa deve redigere un piano particolareggiato delle lavorazioni, che contenga:

- la specificazione della provenienza dei materiali di cui si compone il sottofondo, corredata da un bilancio quantitativo che tenga conto delle presumibili variazioni volumetriche connesse alle operazioni di costipamento;
- le risorse impegnate nelle lavorazioni programmate, (mezzi, mano d'opera, personale e attrezzature del laboratorio di cantiere, ecc.), la durata e la collocazione temporale dell'impegno;
- le modalità di posa in opera del materiale, da verificare nel campo prova, in ordine a:
 - spessori di stesa consentiti dai mezzi di costipamento;
 - attitudine dei mezzi d'opera e, in particolare dei compattatori, ad assicurare le prescritte caratteristiche prestazionali;
 - numero di passate e velocità media di avanzamento dei mezzi costipanti;
 - le prevalenti condizioni di umidità naturale dei materiali impiegati all'atto della posa in opera, in relazione alle quali sono dettagliati nel piano gli eventuali procedimenti di umidificazione, deumidificazione, correzione e/o stabilizzazione;
- le modalità esecutive delle operazioni propedeutiche e collaterali alla posa in opera: umidificazione, deumidificazione, sminuzzamento, mescolamento, correzione, stabilizzazione, spargimento;
- la programmazione e la progettazione delle opere di supporto all'esecuzione delle lavorazioni: piste provvisorie, raccordi alla viabilità di accesso al cantiere di lavoro, piazzali di deposito provvisorio;
- eventuali integrazioni con opere di drenaggio e di difesa dalle acque meteoriche.

Ogni proposta di variazione del piano particolareggiato dei lavori che si rendesse utile o necessaria in corso d'opera deve essere motivatamente presentata alla Direzione dei Lavori e da questa tempestivamente esaminata.

La suddetta programmazione è anche condizione indispensabile per la gestione del cantiere in regime di controllo di qualità della prestazione, ai sensi delle Norme UNI EN ISO serie 9000.

5.5. - PIANO DI POSA

5.5.1 - REQUISITI DI PORTANZA

Salvo diverse e più restrittive prescrizioni, motivate in sede di Progetto dalla necessità di garantire adeguata stabilità al sottofondo, il modulo di deformazione M_d , determinato sul piano di posa (naturale o bonificato) degli strati di sottofondo, secondo la norma CNR B.U. n.146/92, al primo ciclo di carico, nell'intervallo compreso tra $0,05 \div 0,15 \text{ N/mm}^2$, deve risultare non inferiore a:

- ♦ 30 N/mm^2 , quando la distanza del piano di posa degli strati di sottofondo rispetto al piano di appoggio della sovrastruttura è compresa tra 0,50 e 1,00 m
- ♦ per distanze inferiori a 0,50 m si applicano i requisiti richiesti ai sottofondi di cui alla **Tabella 5.4.**

Le caratteristiche di portanza del piano di posa degli strati di sottofondo devono essere accertate in condizioni di umidità rappresentative delle situazioni climatiche e idrogeologiche più sfavorevoli, di lungo termine, con la frequenza stabilita dalla Direzione Lavori in relazione all'importanza dell'opera, all'omogeneità del materiale del piano di posa e, comunque, in misura non inferiore ad una prova ogni 3000 m^2 . Per i materiali a comportamento "instabile" (collassabili, espansivi, gelivi, etc.) la determinazione del modulo di deformazione deve essere effettuata in condizioni di saturazione del materiale interessato.

5.5.2 - BONIFICHE DEI SOTTOFONDI E DEI PIANI DI POSA

Nel casi in cui la sede stradale sia in trincea e la natura e lo stato dei terreni naturali di impianto non consentono di raggiungere con il solo costipamento i valori di portanza richiesti al precedente §5.5.1., può essere introdotto nel programma dettagliato delle lavorazioni l'approfondimento degli scavi per la sostituzione di un opportuno spessore del materiale esistente con idonei materiali di apporto. L'opportunità di realizzare questo tipo di lavorazione sarà valutata sulla base di un'analisi geotecnica del problema, che ne dimostri la necessità. Qualora si rendesse necessaria la realizzazione di tale strato è indispensabile definire, sempre mediante un'analisi geotecnica, le caratteristiche dimensionali dell'intervento (spessore ed estensione). L'idoneità dei materiali riciclati da impiegare per la realizzazione di questi strati di bonifica dovrà essere valutata sulla base dei seguenti requisiti:

- § nei casi in cui gli strati di bonifica si trovino a distanza superiore a 1,00 m dal piano di posa della sovrastruttura i materiali dovranno essere conformi a quanto previsto nel precedente §4. per i materiali da impiegare nella formazione dei rilevati;
- § nei casi in cui gli strati di bonifica si trovino a distanza inferiore a 1,00 m dal piano di posa della sovrastruttura i materiali dovranno essere conformi a quanto previsto nel presente §5. per i materiali da impiegare per la formazione degli strati di sottofondo.

5.6. – AGGREGATI

L'intrinseca variabilità di provenienza dei materiali che compongono gli aggregati riciclati impone di caratterizzarli qualificandoli per lotti omogenei, allo scopo di evitare disuniformità di comportamento dopo la messa in opera (v. §3.).

I requisiti di accettazione degli inerti riciclati di seguito riportati si riferiscono all'impiego nello strato di sottofondo, fino alla profondità di circa 1,00 m a partire dal piano di posa della sovrastruttura.

5.6.1. – REQUISITI FISICO – MECCANICI

Le miscele di materiali riciclati provenienti da attività di costruzione e demolizione devono rispettare i requisiti indicati **Tabella 5.1**. Ai fini del loro impiego l'Impresa è tenuta a predisporre la qualificazione dello stesso tramite certificazione rilasciata da un Laboratorio specializzato.

Tabella 5.1 - Aggregati da costruzione e demolizione per strati di sottofondo

Componenti	Modalità di prova	Limiti
Contenuto di materiali litici di qualunque provenienza, pietrisco tolto d'opera, calcestruzzi, laterizi, refrattari, prodotti ceramici, malte idrauliche ed aeree, intonaci	UNI EN 13285 Appendice A	> 80% in massa
Contenuto di conglomerati bituminosi	UNI EN 13285 Appendice A	• 15% in massa
Contenuto di vetro e scorie vetrose	UNI EN 13285 Appendice A	• 10% in massa
Contenuto di altri rifiuti minerali dei quali sia ammesso il recupero nel corpo stradale ai sensi della legislazione vigente	UNI EN 13285 Appendice A	• 15% in massa e • 5% per ciascuna tipologia
Contenuto di materiali deperibili o materiali plastici cavi (carta, legno, fibre tessili, cellulosa, sostanze organiche eccetto il bitume, residui alimentari, corrugati, tubi, parti di bottiglie in plastica, ecc.)	UNI EN 13285 Appendice A	• 0,1% in massa
Contenuto di altri materiali (metalli, guaine, gomme, lana di roccia o di vetro, gesso, ecc.)	UNI EN 13285 Appendice A	• 0,4% in massa
Parametri	Modalità di prova	Limiti
Perdita per abrasione "Los Angeles"	UNI EN 1097-2	• 45%
Sensibilità al gelo (*)	UNI EN 1367-1	• 30%
Indice di plasticità	CNR UNI 10014	Non Plastico
Passante al setaccio 63 mm	UNI EN 933-1	100%
Passante al setaccio 4 mm	UNI EN 933-1	• 60% in massa
Passante al setaccio 0,063 mm	UNI EN 933-1	• 15% in massa
Rapporto fra passante al setaccio 0,500 mm e passante al setaccio 0,063 mm	UNI EN 933-1	> 1,5
Produzione finissimo per costipamento AASHO Mod. nell'intervallo $\pm 2\%$ W_{OTT}	CNR B.U. n.69/78 UNI EN 933-1	Differenza $P_{0,063post} - P_{0,063ante}$ • 5%
Indice di forma	UNI EN 933-4	• 35%
Indice di appiattimento	UNI EN 933-3	• 35%
(*) In zone soggette al gelo		

L'idoneità all'impiego del materiale deve essere accertata anche mediante il valore dell'Indice C.B.R. determinato secondo la norma CNR-UNI 10009/64; il materiale sarà ritenuto idoneo se fornisce valori dell'Indice di portanza C.B.R., su provini addensati con energia AASHO Mod. e umidità $w = w_{ott} \pm 2\%$, dopo 4 giorni di immersione in acqua, pari a:

C.B.R. • 20 %;

In ogni caso il rigonfiamento rilevato secondo le modalità previste dalla stessa Norma CNR-UNI 10009/64 non dovrà essere superiore a 1%.

5.6.2. - REQUISITI CHIMICI

I materiali riciclati debbono appartenere prevalentemente alle tipologie 7.1., 7.2., 7.11. e 7.17. previste dal D.M. 05/02/98, n. 72. Non sono ammessi materiali contenenti amianto e/o sostanze pericolose e nocive o con significativi contenuti di gesso. Pertanto, tali materiali debbono essere sottoposti ai test di cessione sul rifiuto come riportato in Allegato 3 del citato D.M. del 05/02/98, o a test equivalente di riconosciuta valenza europea (UNI 10802/2002).

Il contenuto totale di solfati e solfuri (Norma UNI EN 1744-1) deve essere ≤ 1 %. Se il materiale viene posto in opera a contatto con strutture in cemento armato, tale valore deve essere $\leq 0,5$ %.

5.7. - POSA IN OPERA

La stesa del materiale deve essere eseguita con regolarità per strati di spessore costante, con modalità e attrezzature atte a evitare segregazione, brusche variazioni granulometriche e del contenuto d'acqua.

Per evitare disomogeneità dovute alla segregazione che si verifica durante lo scarico dai mezzi di trasporto, il materiale deve essere depositato subito a monte della superficie d'impiego, per esservi successivamente riportato tramite mezzi di stesa.

La granulometria dei materiali costituenti i diversi strati del sottofondo deve essere la più omogenea possibile. In particolare, deve evitarsi di porre in contatto strati di materiale a granulometria poco assortita o uniforme (tale, cioè, da produrre nello strato compattato elevata percentuale dei vuoti), a strati di materiali a grana più fine che, durante l'esercizio, per effetto delle vibrazioni prodotte dal traffico, possano penetrare nei vuoti degli strati sottostanti, provocando cedimenti per assestamento del corpo del rilevato. In ogni caso, il materiale non deve presentare elementi di dimensioni maggiori di 63 mm; questi debbono essere, pertanto, scartati all'impianto di prelievo, prima del carico sui mezzi di trasporto.

Ciascuno strato può essere messo in opera, pena la rimozione, soltanto dopo avere accertato, mediante prove di controllo, l'idoneità dello strato precedente.

Lo spessore sciolto di ogni singolo strato è stabilito in ragione delle caratteristiche dei materiali, delle macchine e delle modalità di compattazione, sperimentate in campo prove, secondo le indicazioni riportate nel §5.3. Le operazioni di compattazione debbono essere determinate mediante la messa a punto degli schemi di rullatura che debbono essere definiti prima dell'inizio dei lavori.

Lo spessore di stesa di norma deve risultare non inferiore a due volte la dimensione massima degli aggregati impiegati.

Il materiale deve essere steso in strati di ridotto spessore, comunque non superiore a 30 cm, e costipato mediante rullatura. La superficie degli strati, a compattazione avvenuta, deve avere una pendenza trasversale pari a circa il 4% e, comunque, tale da garantire lo smaltimento delle acque meteoriche e deve essere evitata la formazione di avvallamenti o solchi. Detta pendenza deve essere mantenuta durante il lavoro e il transito dei mezzi di cantiere, impiegando allo scopo livellatrici o macchine equivalenti.

Non sono ammesse alternanze di strati di materiali da riciclo e di materiali granulari naturali.

5.8. - COMPATTAZIONE

Nel rispetto delle previsioni di Progetto e delle disposizioni che possono essere date in corso d'opera dalla Direzione Lavori, l'Impresa è tenuta a fornire e, quindi, ad impiegare mezzi di costipamento adeguati alla natura dei materiali da mettere in opera e, in ogni caso, tali da permettere di ottenere i requisiti di densità e di portanza richiesti per gli strati finiti.

Per il migliore rendimento energetico dei mezzi di costipamento è opportuno sceglierne la tipologia più idonea (rulli lisci statici, rulli lisci vibranti, rulli gommati, rulli a piedi costipanti) ed operare con umidità prossima a quella ottimale determinata in laboratorio mediante la prova AASHO Mod. (CNR B.U. n.69/78 o UNI EN 13286-2/2005). L'attitudine delle macchine di costipamento deve essere verificata in campo prova per ogni tipo di materiale che si prevede di impiegare. La loro produzione, inoltre, deve risultare compatibile con quella delle altre fasi (scavo, trasporto e stesa) e con il programma temporale stabilito nel piano particolareggiato dei movimenti di materia (v. §5.4.).

Le macchine di costipamento, la loro regolazione (velocità, massa, pressione di gonfiaggio dei pneumatici, frequenza di vibrazione, ecc.), gli spessori degli strati ed il numero di passaggi debbono rispettare le condizioni stabilite nel corso della sperimentazione in campo prova. In ogni caso l'efficacia del processo ed il conseguimento degli obiettivi restano nell'esclusiva responsabilità dell'Impresa.

Se non occorre modificare il contenuto d'acqua, una volta steso il materiale, lo strato deve essere immediatamente compattato.

La compattazione deve sempre assicurare un addensamento uniforme all'interno dello strato, anche lungo i bordi dello strato stesso.

Salvo diverse prescrizioni motivate in sede di Progetto, i controlli di qualità degli strati finiti, effettuati mediante misure di massa volumica e di portanza, debbono soddisfare i requisiti indicati nel successivo §5.10. "Controlli". Inoltre, durante la formazione degli strati di sottofondo, occorre provvedere tempestivamente alla riparazione di danni causati dal traffico di cantiere oltre a quelli dovuti alla pioggia e/o al gelo.

5.9. - PROTEZIONE

Qualora si dovessero manifestare erosioni di qualsiasi entità, l'Impresa deve provvedere al ripristino delle zone ammalorate a sua cura e spese.

Nel caso in cui si preveda un'interruzione dei lavori di più giorni, l'Impresa è tenuta ad adottare ogni provvedimento per evitare infiltrazioni di acque meteoriche all'interno degli strati realizzati. Allo scopo, le superfici, ben livellate e compattate, debbono risultare sufficientemente chiuse e presentare pendenza trasversale non inferiore al 4%.

Se nei sottofondi dovessero avvenire cedimenti differiti, dovuti a carenze costruttive, l'Impresa è obbligata ad eseguire a sue spese i lavori di ricarica.

Nel caso di sospensione prolungata della costruzione, alla ripresa delle lavorazioni le parti già eseguite dovranno essere ripulite dalle erbe e dalla vegetazione che vi si fosse insediata; in tal caso è opportuno ripetere le prove di controllo dell'addensamento e della portanza.

5.10. - CONTROLLI

5.10.1. - CONTROLLO DELLE FORNITURE

In corso d'opera, sia per le necessità connesse alla costruzione degli strati, particolarmente per quanto riguarda il costipamento, sia per valutare che non abbiano a verificarsi variazioni nella qualità dei materiali, devono essere effettuate prove di controllo su campioni prelevati in contraddittorio con la Direzione dei Lavori.

Il numero dei campioni dipende dall'eterogeneità dei materiali interessati; per ogni approvvigionamento omogeneo la numerosità delle prove deve rispettare i criteri quantitativi riportati nella **Tabella 5.3**, salvo diverse e documentate prescrizioni della Direzione dei Lavori.

Tabella 5.3
Frequenza dei controlli delle forniture dei materiali per sottofondi stradali

Tipo di prova	Primi 5000 m ³	Ulteriori m ³
Controllo dei requisiti di cui alla Tabella 5.1	ogni 500 m ³	ogni 3000 m ³
Umidità naturale	ogni 500 m ³ (*)	ogni 1000 m ³ (*)
Costipamento AASHO Mod. (CNR B.U. n.69/78 o UNI EN 13286-2/2005)	ogni 500 m ³	ogni 3000 m ³
Indice di portanza C.B.R. (CNR-UNI 10009)	ogni 500 m ³	ogni 3000 m ³
(*) e comunque rapportate alle condizioni meteorologiche locali e all'omogeneità dei materiali messi in opera		

5.10.2. - CONTROLLI PRESTAZIONALI SUGLI STRATI FINITI

Il livello prestazionale degli strati posti in opera può essere accertato, in relazione alla granulometria del materiale impiegato, attraverso il controllo dell'addensamento raggiunto, rispetto al riferimento desunto dalle prove AASHO Mod. di laboratorio, e attraverso il controllo della capacità portante.

Le prove di controllo della portanza devono essere effettuate mediante misure del modulo di deformazione M_d , al primo ciclo di carico, secondo quanto previsto dalla norma CNR B.U. n.146/92, nell'intervallo di carico compreso tra 0,15 e 0,25 N/mm².

Il controllo mediante misure di massa volumica del secco in sito (CNR B.U. n.22/72) per la successiva determinazione del grado di addensamento può essere effettuato soltanto se, come previsto dalla norma CNR B.U. n.69/1978, la frazione di materiale trattenuta al setaccio da 20 mm UNI EN 932-2 non supera il 35% della massa totale. In questo caso il controllo può essere effettuato previa correzione del peso di volume del secco in sito, per tenere conto della presenza di elementi di dimensioni maggiori di 20 mm, determinando la massa volumica in sito tramite la relazione:

$$\gamma_{d,sito} = \frac{P_d - P'_d}{V - V'}$$

P_d : massa totale dopo essiccazione del materiale prelevato;
 V : volume totale occupato in sito dal materiale prelevato;
 P'_d : massa del secco della frazione trattenuta al setaccio UNI EN 20 mm;
 $V' = P'_d / \gamma_s$: volume della frazione trattenuta al setaccio UNI EN 20 mm;
 γ_s : massa volumica apparente della frazione trattenuta al setaccio UNI EN 20 mm.

Quando per le caratteristiche dimensionali del materiale non sia possibile procedere al controllo prestazionale con misure di massa volumica (non essendo possibile determinare riferimenti rappresentativi da prove di costipamento AASHO Mod. di laboratorio), per valutare il grado di costipamento la Direzione Lavori può prescrivere l'esecuzione di prove di carico con piastra a doppio ciclo di carico (CNR B.U. 146/92) per la determinazione dei moduli di deformazione M_d e M'_d .

La determinazione del modulo M'_d al secondo ciclo di carico permette, in ogni caso, di ottenere più ampi elementi di giudizio sulla qualità meccanica degli strati posti in opera, ivi compresi quelli sottostanti lo strato provato. Il rapporto tra il valore del modulo di deformazione M'_d al secondo ciclo di carico ed il valore del modulo di deformazione M_d al primo ciclo di carico non dovrà, in ogni caso, essere superiore a 2,5. La prova di carico con piastra a doppio ciclo risulta inoltre necessaria quando le prove di portanza non sono eseguite immediatamente dopo l'ultimazione del costipamento e, pertanto, è ragionevole temere che le misure al primo ciclo possano risultare influenzate dal disturbo prodotto dagli agenti atmosferici sulla parte più superficiale dello strato.

In alternativa, o anche ad integrazione delle misure di modulo di deformazione, il controllo della portanza degli strati finiti può essere effettuato mediante misure di deflessione, operando con mezzi ad elevato rendimento come il Falling Weight Deflectometer (ASTM D4694/96) che consente la determinazione del modulo elastico equivalente "E". Le soglie da raggiungere debbono essere determinate, preliminarmente, sulla base delle correlazioni stabilite in campo prova tra il modulo "E" e il modulo di deformazione M_d , tenuto conto del materiale in esame e del valore del modulo "E" stesso previsto nel progetto della sovrastruttura. Le misure di deflessione risultano, generalmente, assai più rapide dalle misure di modulo di deformazione e, pertanto, possono essere convenientemente predisposte per ottenere una rappresentazione della variazione della portanza sull'intera estensione dello strato esaminato, sia in senso longitudinale, sia in senso trasversale, se ciò è ritenuto necessario, come nel caso degli ampliamenti e delle sezioni di mezza costa. Queste determinazioni possono inoltre rappresentare la base per la scelta dei punti in cui effettuare misure del modulo di deformazione M_d se occorre determinare la distribuzione spaziale della portanza dei sottofondi finalizzata al sezionamento della strada in tronchi omogenei di portanza dei sottofondi.

Dato che la portanza di un materiale granulare dipende dal suo contenuto d'acqua "w" in misura più o meno grande in relazione alla natura del materiale stesso, i livelli prestazionali indicati nella **Tabella 5.4** si riferiscono a contenuti d'acqua compresi tutti nell'intervallo:

$$w_{ott} - 2,0\% < w < w_{ott} + 2,0\%$$

(w_{ott} = umidità ottima di costipamento ricavata con prove AASHO Mod.)

Se il contenuto d'acqua del materiale al momento delle prove dovesse risultare esterno all'intervallo sopra specificato, la capacità portante può essere stimata a partire dalle relative misure effettuate tenendo opportunamente conto dell'influenza dell'umidità. Ciò richiede che per il dato materiale siano determinate preliminarmente nel campo di prova le correlazioni tra la capacità portante e l'umidità del materiale.

Quando le suddette correlazioni non siano state determinate, nel caso delle prove di carico con piastra (o di deflessione tramite FWD) occorre ricondurre il contenuto d'acqua del materiale (per uno spessore di almeno 15 cm) all'interno dell'intervallo sopraindicato.

Tabella 5.4
Criteri di qualità e requisiti per gli strati di sottofondo ⁽¹⁾

TRAFFICO	Grado di addensamento $\gamma_{d,sito}/\gamma_{dmax,laboratorio}$ [%]	Modulo di deformazione M_d [N/mm ²] ⁽²⁾	M_d' / M_d ⁽³⁾	Modulo elastico determinato tramite F.W.D.
P e PP	≥ 95 % AASHO Mod.	≥ 50	• 2,3	≥ del valore previsto in Progetto
L e M	≥ 93 % AASHO Mod.	≥ 40	• 2,5	≥ del valore previsto in Progetto
⁽¹⁾ Strati posti a più di 1,0 m dal piano di posa della pavimentazione; ⁽²⁾ Determinato al primo ciclo di carico nell'intervallo di pressione tra 0,05 e 0,15 N/mm ² ; ⁽³⁾ Ove prescritto dalla Direzione Lavori.				

Le prove di controllo vanno ubicate nei punti indicati dalla Direzione Lavori e formano oggetto di apposito Verbale.

5.10.3. – FREQUENZA DEI CONTROLLI DEGLI STRATI FINITI

Salvo documentata diversa prescrizione della Direzione Lavori, la frequenza delle prove deve rientrare negli intervalli indicati in **Tabella 5.5**.

Tabella 5.5
Frequenza dei controlli sugli strati di sottofondo ⁽¹⁾

Controllo	Primi 5.000 m³	Ulteriori m³
Grado di addensamento	ogni 500 m ³	ogni 2000 m ³
Modulo di deformazione M_d	ogni 500 m ³	ogni 2000 m ³
Rapporto M_d / M_d'	ogni 500 m ³	ogni 2000 m ³
Modulo elastico equivalente "E"	ogni 500 m ³	ogni 2000 m ³
⁽¹⁾ In trincea, per tutto lo spessore dello strato di bonifica del sottofondo; In rilevato, per lo strato superiore fino alla profondità di 1,0 m dal piano di posa della sovrastruttura.		

5.11. - TOLLERANZE

5.11.1. - TOLLERANZE DEI RISULTATI DELLE PROVE DI CONTROLLO

Per ciascun tipo di prova di controllo, nel caso in cui il numero delle misure risulti inferiore a 5, come può avvenire per lavori di entità molto modesta, tutti i valori misurati debbono rispettare le soglie minime riportate nella **Tabella 5.4**.

Negli altri casi si può accettare che su n. 5 risultati di una stessa prova di controllo n. 1 possa non rispettare i valori minimi richiesti, purché lo scostamento da tali valori non ecceda:

- il 5%, per le misure del grado di addensamento;
- il 10%, per le misure dei moduli M_d e M_d' .

Per le prove deflettometriche ad alto rendimento la media dei valori del modulo "E" ricavata da almeno 20 determinazioni non dovrà essere inferiore ai valori minimi prestabiliti. Può essere tollerato uno scostamento da tali valori minimi purché lo scostamento stesso non ecceda il 20%.

5.11.2. - TRONCHI OMOGENEI

Eccetto che per le strade soggette a traffico pesante molto limitato (meno di 100 veicoli commerciali al giorno, per ogni corsia) è fatto obbligo all'Impresa di verificare le soluzioni previste in Progetto per la sovrastruttura stradale, tenuto conto della distribuzione della portanza dei sottofondi determinata nel corso dei controlli.

Allo scopo, occorre sezionare la strada in tronchi omogenei (o classi) di portanza dei sottofondi. Per fare ciò, è necessario avere una chiara rappresentazione della variazione spaziale della portanza che, a seconda dei casi, può essere fornita:

- dalle misure puntuali di portanza (per tronchi stradali di modesta importanza) effettuate nel corso delle prove di controllo dei sottofondi, se in numero sufficiente;
- dall'auscultazione in continuo della portanza dei sottofondi, sull'intera tratta di strada, ottenuta con mezzi ad elevato rendimento (come il Falling Weight Deflectometer (ASTM D4694/96)).

Quest'ultimo caso deve intendersi obbligatorio per la costruzione di infrastrutture stradali soggette a traffico pesante (P) e molto pesante (PP).

Le classi di portanza omogenee sono individuate sulla base della dispersione delle misure, tramite il coefficiente di variazione C_v espresso dal rapporto tra la deviazione standard (σ) e la media (m) delle misure ($C_v = \sigma/m$).

Per i sottofondi appartenenti ad una stessa classe il coefficiente di variazione calcolato sulla base di almeno 10 misure di portanza, deve risultare inferiore a 0,50.

5.11.3. - TOLLERANZE DELLE GIACITURE DEI PIANI REALIZZATI RISPETTO A QUELLE DI PROGETTO

L'Impresa è tenuta a rispettare le seguenti tolleranze di esecuzione dei piani finiti:

- § ± 3 cm, per i piani di sottofondo;
- § ± 5 cm, per i piani di appoggio degli strati di sottofondo.

La misura delle tolleranze va eseguita mediante regolo rigido di 4 m di lunghezza (Norma UNI EN 13036-7/2004), disposto secondo due direzioni ortogonali; gli scostamenti vanno letti in direzione normale ai piani considerati.

I controlli di esecuzione sono effettuati di norma:

- § ogni 500 m², per i piani di posa del sottofondo;
- § ogni 200 m², per i piani di posa della sovrastruttura.

6. – COSTRUZIONE DEGLI STRATI DI FONDAZIONE DI SOVRASTRUTTURE STRADALI

6.1 GENERALITÀ

Lo strato di fondazione di sovrastrutture stradali viene in genere realizzato con misto granulare non legato che può essere costituito da inerti granulari riciclati

Il misto granulare riciclato è una miscela selezionata di aggregati riciclati, eventualmente corretta mediante l'aggiunta o la sottrazione di determinate frazioni granulometriche per migliorarne le proprietà fisico-meccaniche.

6.2. – AGGREGATI

6.2.1. – REQUISITI DI COMPOSIZIONE

Il misto granulare per strati di fondazione costituito da aggregati riciclati dovrà possedere i requisiti di composizione indicati nella seguente Tabella 6.1.

Tabella 6.1
Requisiti di composizione dei misti granulari riciclati per strati di fondazione

Componenti	Modalità di prova	Limiti
Contenuto di materiali litici di qualunque provenienza, pietrisco tolto d'opera, calcestruzzi, laterizi, refrattari, prodotti ceramici, malte idrauliche ed aeree, intonaci	UNI EN 13285 Appendice A	> 90% in massa
Contenuto di vetro e scorie vetrose	UNI EN 13285 Appendice A	< 5% in massa
Contenuto di conglomerati bituminosi	UNI EN 13285 Appendice A	< 5% in massa
Contenuto di altri rifiuti minerali dei quali sia ammesso il recupero in sottofondi e fondazioni stradali ai sensi della legislazione vigente	UNI EN 13285 Appendice A	• 5% in massa per ciascuna tipologia
Contenuto di materiali deperibili: carta, legno, fibre tessili, cellulosa, residui alimentari, sostanze organiche eccetto bitume; Materiali plastici cavi: corrugati, tubi o parti di bottiglie di materia plastica, ecc.	UNI EN 13285 Appendice A	• 0,1% in massa
Contenuto di altri materiali: metalli, guaine, gomme, lana di roccia o di vetro, gesso, ecc.	UNI EN 13285 Appendice A	• 0,4% in massa

6.2.2. – REQUISITI FISICO-MECCANICI

Gli aggregati grossi (trattenuti al setaccio da 4 mm UNI EN) e gli aggregati fini (passanti al setaccio da 4 mm UNI EN) sono gli elementi che formano il misto granulare.
Per gli elementi dell'aggregato grosso devono essere soddisfatti i requisiti indicati nella **Tabella 6.2**.

Tabella 6.2
Requisiti dell'aggregato grosso (frazione trattenuta al setaccio da 4 mm) dei
misti granulari riciclati per strati di fondazione

Indicatori di qualità		Unità di misura	Livello di traffico			
Parametro	Normativa		PP	P	M	L
Perdita per abrasione "Los Angeles"	UNI EN 1097-2	%	• 30	• 30	• 35	• 40
Dimensione max	UNI EN 933-1	mm	63	63	63	63
Indice di forma	UNI EN 933-4	%	• 35	• 35	• 35	• 35
Indice di appiattimento	UNI EN 933-3	%	• 35	• 35	• 35	• 35
Sensibilità al gelo (¹)	UNI EN 1367-1	%	• 20	• 20	• 30	• 30
(¹) In zone soggette al gelo						

L'aggregato fino deve essere costituito da elementi che possiedano le caratteristiche riportate nella seguente **Tabella 6.3**.

Tabella 6.3
Requisiti dell'aggregato fine (frazione passante al setaccio da 4 mm) dei
misti granulari riciclati per strati di fondazione

Indicatori di qualità		Unità di misura	Livello di traffico			
Parametro	Normativa		PP	P	M	L
Equivalente in sabbia	CNR B.U. 27/72	%	• 30	• 30	• 30	• 30
Indice Plasticità	CNR-UNI 10014	%	N.P.	N.P.	N.P.	• 6
Limite Liquido	CNR-UNI 10014	%	• 25	• 25	• 35	• 35
Passante al setaccio 0,063 mm	UNI EN 933-1	%	• 6	• 6	• 6	• 6

La miscela di aggregati riciclati da adottarsi per la realizzazione del misto granulare deve avere una

composizione granulometrica contenuta nel fuso riportato in **Tabella 6.4**.

Tabella 6.4
Requisiti granulometrici della miscela di aggregate riciclati

Vagli UNI EN	Apertura maglia (mm)	Passante (%)
Setaccio	63,000	100
Setaccio	31,500	75 – 100
Setaccio	16,000	50 – 82
Setaccio	10,000	35 – 70
Setaccio	4,000	22 – 50
Setaccio	2,000	15 – 40
Setaccio	0,500	8 – 25
Setaccio	0,125	5 – 15
Setaccio	0,063	2 – 10

La dimensione massima dell'aggregato non deve in ogni caso superare la metà dello spessore dello strato finito ed il rapporto tra il passante al setaccio UNI EN 0,063 mm ed il passante al setaccio UNI EN 0,5 mm deve essere inferiore a 2/3.

La produzione di materiale finissimo per effetto del costipamento con energia AASHO Modificata, effettuato nell'intervallo di umidità $\pm 2\%$ rispetto all'umidità ottima w_{ott} (determinata con la stessa prova di costipamento AASHO Mod.) e valutata tramite la differenza della percentuale di passante al setaccio UNI EN 0,063 mm prima e dopo il costipamento, non dovrà essere superiore al 5%.

L'indice di portanza CBR (CNR-UNI 10009) dopo quattro giorni di imbibizione in acqua (determinato sul materiale passante al setaccio UNI EN 20 mm) non deve essere minore del valore assunto per il calcolo della pavimentazione in fase di Progetto della stessa ed in ogni caso non minore di 30. È inoltre richiesto che tale condizione sia verificata per un intervallo di $\pm 2\%$ rispetto all'umidità ottimale di costipamento.

6.2.3. - REQUISITI CHIMICI

I materiali riciclati debbono appartenere prevalentemente alle tipologie 7.1., 7.2., 7.11. e 7.17. previste dal D.M. 05/02/98, n. 72. Non sono ammessi materiali contenenti amianto e/o sostanze pericolose e nocive o con significativi contenuti di gesso. Pertanto, tali materiali debbono essere sottoposti ai test di cessione sul rifiuto come riportato in Allegato 3 del citato D.M. del 05/02/98, o a test equivalente di riconosciuta valenza europea (UNI 10802/2002).

Il contenuto totale di solfati e solfuri (Norma UNI EN 1744-1) deve essere $\leq 1\%$. Se il materiale viene posto in opera a contatto con strutture in c.a., tale valore deve essere $\leq 0,5\%$.

6.3. – ACCETTAZIONE

Con congruo anticipo rispetto all'inizio delle lavorazioni, l'Impresa è tenuta a predisporre la qualificazione delle miscele di aggregati riciclati che intende utilizzare tramite certificazioni attestanti i requisiti prescritti al §6.2. Tale certificazione deve essere rilasciata da un Laboratorio specializzato e deve comprendere la determinazione della curva di costipamento con energia AASHO Modificata (CNR B.U. n.69/78 o UNI EN 13286-2/2005).

Una volta che lo studio delle miscele sia stato accettato da parte della Direzione Lavori, l'Impresa deve rigorosamente attenersi ad esso.

6.4 – CONFEZIONAMENTO

L'Impresa deve indicare, per iscritto, gli impianti di approvvigionamento, le aree ed i metodi di stoccaggio (con indicazione dei provvedimenti che intende adottare per la protezione dei materiali dalle acque di ruscellamento e da possibili inquinamenti), il tipo di lavorazione che intende adottare, il tipo e la consistenza dell'attrezzatura di cantiere che verrà impiegata.

6.5 – POSA IN OPERA

Il piano di posa dello strato di fondazione in misto granulare deve avere le quote, la sagoma, i requisiti di portanza previsti nel Progetto ed essere ripulito da materiale estraneo. Il materiale va steso in strati di spessore finito non superiore a 25 cm e non inferiore a 10 cm e deve presentarsi, dopo costipamento, uniformemente miscelato in modo da non manifestare segregazione dei suoi componenti. L'eventuale aggiunta di acqua, per raggiungere l'umidità prescritta in funzione della massa volumica, è da effettuarsi mediante dispositivi spruzzatori. La stesa va effettuata con finitrice o con grader appositamente equipaggiato.

Tutte le operazioni anzidette sono sospese quando le condizioni ambientali (pioggia, neve, gelo) siano tali da danneggiare la qualità dello strato.

Quando lo strato finito risulti compromesso a causa di un eccesso di umidità o per effetto di danni dovuti al gelo, esso deve essere rimosso e ricostituito a cura e spese dell'Impresa.

Il materiale pronto per il costipamento deve presentare in ogni punto la prescritta granulometria. Per il costipamento e la rifinitura verranno impiegati rulli vibranti, rulli gommati o combinati, tutti semoventi. Per ogni cantiere, l'idoneità dei mezzi d'opera e le modalità di costipamento devono essere, determinate, in contraddittorio con la Direzione Lavori, prima dell'esecuzione dei lavori, mediante sperimentazione su campo prova, usando le miscele messe a punto per lo specifico cantiere. Il costipamento di ciascuno strato deve essere eseguito sino ad ottenere un grado di addensamento non inferiore ai valori indicati nella successiva **Tabella 6.6**.

6.6. - CONTROLLI

6.6.1. - CONTROLLO DELLE FORNITURE

In corso d'opera, sia per le necessità connesse alla costruzione degli strati, particolarmente per quanto riguarda il costipamento, sia per accertare che non abbiano a verificarsi variazioni nella qualità dei materiali, devono essere effettuate prove di controllo su campioni prelevati in contraddittorio con la Direzione dei Lavori.

Il controllo della qualità dei misti granulari riciclati, deve essere effettuato mediante prove di laboratorio sui materiali costituenti, sul materiale prelevato in sito al momento della stesa oltre che con prove sullo strato finito. Il numero dei campioni dipende dall'eterogeneità dei materiali interessati; per ogni approvvigionamento omogeneo la numerosità delle prove di attitudine deve rispettare i criteri quantitativi riportati nella **Tabella 6.5** per ogni tipo di controllo da effettuare, salvo diverse e documentate prescrizioni della Direzione dei Lavori.

Tabella 6.5
Frequenza dei controlli e requisiti delle forniture dei
misti granulari riciclati per fondazioni stradali

Controllo	Frequenza	Requisiti
Materiali componenti	Iniziale e per ogni lotto impiegato	Tabella 6.1.
Aggregato grosso	Iniziale e per ogni lotto impiegato	Tabella 6.2.
Aggregato fine	Iniziale e per ogni lotto impiegato	Tabella 6.3
Granulometria miscela	Iniziale, poi giornaliera oppure ogni 1000 m ³ di stesa	Tabella 6.4
Umidità ottima AASHO Mod.	Iniziale, poi giornaliera oppure ogni 1000 m ³ di stesa	
Indice C.B.R. dopo 4 giorni di imbibizione in acqua	Iniziale, poi giornaliera oppure ogni 1000 m ³ di stesa	> 30% nell'intervallo di umidità $\pm 2\%$ rispetto a w_{ott} AASHO mod.
Produzione finissimo per costipamento AASHO Mod. nell'intervallo $\pm 2\% W_{OTT}$	Iniziale, poi giornaliera oppure ogni 1000 m ³ di stesa	< 5%

La granulometria del misto granulare riciclato deve essere verificata giornalmente, prelevando il materiale in sito al momento della posa in opera. Rispetto alla qualificazione delle forniture, nella curva granulometrica sono ammessi variazioni delle singole percentuali dell'aggregato grosso di ± 5 punti e di ± 2 punti per l'aggregato fine. In ogni caso non devono essere superati i limiti del fuso assegnato (**Tabella 6.4**). L'equivalente in sabbia (UNI EN 933-8) dell'aggregato fino deve essere verificato almeno ogni tre giorni lavorativi.

6.6.2. - CONTROLLI PRESTAZIONALI SUGLI STRATI FINITI

Il livello prestazionale degli strati posti in opera può essere accertato, in relazione alle caratteristiche del materiale impiegato, attraverso il controllo dell'addensamento raggiunto, rispetto al riferimento desunto dalle prove AASHO Mod. di laboratorio e attraverso il controllo della capacità portante.

Il controllo mediante misure di massa volumica del secco in sito (CNR B.U. n.22/72) può essere effettuato soltanto se, come previsto dalla norma CNR B.U. n.69/1978, la frazione di materiale trattenuta al setaccio da 20 mm UNI EN 932-2 non supera il 35% della massa totale. In questo caso il controllo può essere effettuato previa correzione della massa volumica del secco in sito per tenere

conto della presenza di elementi lapidei di dimensioni maggiori di 20 mm, determinando la massa volumica in sito tramite la relazione:

$$\gamma_{d,sito} = \frac{P_d - P'_d}{V - V'}$$

P_d : massa totale dopo essiccazione del materiale prelevato;

V : volume totale occupato in sito dal materiale prelevato;

P'_d : massa del secco della frazione trattenuta al setaccio UNI EN 20 mm;

$V' = P'_d / \gamma_s$: volume della frazione trattenuta al setaccio UNI EN 20 mm;

γ_s : massa volumica apparente della frazione trattenuta al setaccio UNI EN 20 mm.

Quando per le caratteristiche dimensionali del materiale non sia possibile procedere al controllo prestazionale con misure di massa volumica (non essendo possibile determinare riferimenti rappresentativi da prove di costipamento AASHO Mod. di laboratorio), per valutare il grado di costipamento la Direzione Lavori può prescrivere l'esecuzione di prove di carico con piastra a doppio ciclo di carico (CNR B.U. 146/92) per la determinazione dei moduli di deformazione M_d e M'_d .

La determinazione del modulo M'_d al secondo ciclo di carico permette, in ogni caso, di ottenere più ampi elementi di giudizio sulla qualità meccanica degli strati posti in opera, ivi compresi quelli sottostanti lo strato provato. Il rapporto tra il valore del modulo di deformazione M'_d al secondo ciclo di carico ed il valore del modulo di deformazione M_d al primo ciclo di carico non dovrà, almeno nel 95% delle determinazioni, essere superiore ai limiti previsti nella **Tabella 6.6** per i rispettivi livelli di traffico.

La misura della portanza deve accertare che le prestazioni dello strato finito siano non inferiori a quelle indicate nel Progetto e siano conformi a quanto dichiarato prima dell'inizio dei lavori nella documentazione presentata dall'Impresa, ai sensi di quanto previsto al §6.3. La metodologia di indagine impiegata dovrà essere tale da fornire parametri di controllo identici o comunque direttamente confrontabili con quelli utilizzati nel calcolo della pavimentazione. A tale scopo, sono ammesse sia prove puntuali (prove di carico con piastra secondo la Norma CNR B.U. n. 146/92) sia prove ad elevato rendimento (con il Falling Weight Deflectometer - ASTM D4694/96) per la determinazione del modulo elastico equivalente "E".

In ogni caso i valori dei moduli di deformazione M_d (valutati attraverso prova di carico con piastra al primo ciclo di carico nell'intervallo tra 0,15 e 0,25 N/mm²) ed i valori dei moduli elastici equivalenti "E" non dovranno essere inferiore ai valori limite riportati nella **Tabella 6.6**.

Al momento della costruzione degli strati di pavimentazione sovrastanti tutti i valori di portanza dello strato di fondazione dovranno essere non inferiori ai valori limite previsti.

A discrezione della Direzione Lavori possono essere ammesse le seguenti tolleranze sui risultati delle prove di controllo.

Per ciascun tipo di prova, nel caso in cui il numero delle misure risulti inferiore a 5, come può avvenire per lavori di entità molto modesta, tutti i valori misurati debbono rispettare le soglie minime riportate nella suddetta **Tabella 6.6**.

Negli altri casi si può accettare che su n. 5 risultati di una stessa prova di controllo n. 1 possa non rispettare i valori minimi richiesti, purché lo scostamento da tali valori non ecceda:

- il 3%, per la misura del grado di addensamento;
- il 5%, per le misure dei moduli M_d e M'_d .

Per le prove deflettometriche ad alto rendimento la media dei valori del modulo "E" ricavata da almeno 20 determinazioni non dovrà essere inferiore ai valori minimi prestabiliti. Può essere tollerato uno scostamento da tali valori minimi purché lo scostamento stesso non ecceda il 15%.

Le superfici finite devono risultare perfettamente piane, con scostamenti rispetto ai piani di progetto non superiori a 10 mm, controllati mediante regolo rigido di 4 m di lunghezza (Norma UNI EN 13036-7/2004) disposto secondo due direzioni ortogonali.

Lo spessore medio dello strato finito deve essere quello previsto in Progetto, con una tolleranza del 5% purché tale differenza si presenti solo nel 20% dei rilievi effettuati.

Salvo documentata diversa prescrizione della Direzione Lavori, la frequenza delle prove deve rientrare negli intervalli indicati in **Tabella 6.6**.

Tabella 6.6
Frequenza dei controlli e requisiti prestazionali degli strati
di fondazione stradale realizzati con misti granulari riciclati

Controllo	Traffico		Frequenza
	PP o P	M o L	
Grado di addensamento $\gamma_d/\gamma_{dmax, laboratorio} [\%]$	$\geq 98 \%$ AASHO Mod.	$\geq 95 \%$ AASHO Mod.	Ogni 1.000 m ² di stesa
Rapporto M_d / M_d'	$\geq 2,0$	$\geq 2,3$	Ogni 1.000 m ² di stesa
Modulo di deformazione $M_d [N/mm^2]$	≥ 100 (o della prestazione prevista in Progetto)	≥ 80 (o della prestazione prevista in Progetto)	Ogni 1.000 m ² di stesa
Modulo elastico equivalente $E [N/mm^2]$	≥ 190 (o della prestazione prevista in Progetto)	≥ 150 (o della prestazione prevista in Progetto)	Ogni 100 m di fascia stesa
Spessore degli strati	spessore di Progetto	spessore di Progetto	Ogni 100 m di fascia stesa
Scostamento con regolo da 4 m	< 10 mm dai piani di Progetto	< 10 mm dai piani di Progetto	Ogni 100 m di fascia stesa

7. – COSTRUZIONE DEGLI STRATI IN MISTO CEMENTATO

7.1 GENERALITÀ

Il misto cementato realizzato con aggregati riciclati è costituito da una miscela di aggregati riciclati trattata con un legante idraulico (cemento). La miscela deve assumere, dopo un adeguato tempo di stagionatura, una resistenza meccanica durevole ed apprezzabile mediante prove eseguibili su provini di forma assegnata, anche in presenza di acqua o gelo.

7.2. – AGGREGATI

7.2.1. – REQUISITI DI COMPOSIZIONE DEGLI AGGREGATI

Gli aggregati sono gli elementi miscelando i quali si ottiene il misto granulare che costituisce la base del misto cementato. Il misto granulare riciclato per la formazione del misto cementato dovrà essere costituito da aggregati riciclati in possesso dei requisiti di composizione indicati nella seguente Tabella 7.1.

Tabella 7.1
Requisiti di composizione degli aggregati riciclati per la formazione di misti cementati

Componenti	Modalità di prova	Limiti
Contenuto di materiali litici di qualunque provenienza, pietrisco tolto d'opera, calcestruzzi, laterizi, refrattari, prodotti ceramici, malte idrauliche ed aeree, intonaci	UNI EN 13285 Appendice A	> 90% in massa
Contenuto di vetro e scorie vetrose	UNI EN 13285 Appendice A	< 5% in massa
Contenuto di conglomerati bituminosi	UNI EN 13285 Appendice A	< 5% in massa
Contenuto di altri rifiuti minerali dei quali sia ammesso il recupero in sottofondi e fondazioni stradali ai sensi della legislazione vigente	UNI EN 13285 Appendice A	• 5% in massa per ciascuna tipologia
Contenuto di materiali deperibili: carta, legno, fibre tessili, cellulosa, residui alimentari, sostanze organiche eccetto bitume (*); Materiali plastici cavi: corrugati, tubi o parti di bottiglie di materia plastica, ecc.	UNI EN 13285 Appendice A	• 0,1% in massa
Contenuto di altri materiali: metalli, guaine, gomme, lana di roccia o di vetro, gesso, ecc.	UNI EN 13285 Appendice A	• 0,4% in massa
(*) La massa dei materiali deperibili, gravata di un fattore amplificativo 5, deve essere assegnata alla categoria delle rocce degradabili per il rispetto dei requisiti riportati nelle seguenti Tabella 7.2 e Tabella 7.3 .		

7.2.2. – REQUISITI FISICO-MECCANICI

Aggregati - Gli aggregati sono gli elementi che formano il misto granulare di base da additivare con il legante idraulico (cemento) per la realizzazione del misto cementato vengono suddivisi in aggregati grossi (trattenuti al setaccio da 4 mm UNI EN) e aggregati fini (passanti al setaccio da 4 mm UNI EN).

Aggregato grosso - Per gli elementi dell'aggregato grosso devono essere soddisfatti i requisiti indicati nella **Tabella 7.2**.

Tabella 7.2
Requisiti dell'aggregato grosso (frazione trattenuta al setaccio da 4 mm) dei misti granulari riciclati per la formazione di misti cementati

Indicatori di qualità		Unità di misura	Livello di traffico			
Parametro	Normativa		PP	P	M	L
Perdita per abrasione "Los Angeles"	UNI EN 1097-2	%	• 30	• 30	• 35	• 40
Dimensione max	UNI EN 933-1	mm	31,5	31,5	31,5	31,5
Sensibilità al gelo ⁽¹⁾	UNI EN 1367-1	%	• 30	• 30	• 30	• 30
Indice di forma	UNI EN 933-4	%	• 35	• 35	• 35	• 35
Indice di appiattimento	UNI EN 933-3	%	• 35	• 35	• 35	• 35
Rocce tenere, alterate o scistose	CNR BU 104/84	%	• 1	• 1	• 1	• 1
Rocce degradabili, solfatiche o reagenti con alcali del cemento	CNR BU 104/84	%	• 1	• 1	• 1	• 1
⁽¹⁾ In zone considerate soggette al gelo						

Aggregato fino - L'aggregato fino deve essere costituito da elementi che possiedano le caratteristiche riportate nella seguente **Tabella 7.3**.

Tabella 7.3
Requisiti dell'aggregato fine (frazione passante al setaccio da 4 mm) dei misti granulari riciclati per la formazione di misti cementati

Indicatori di qualità		Unità di misura	Livello di traffico			
Parametro	Normativa		PP	P	M	L
Contenuto di rocce tenere, alterate o scistose	CNR BU 104/84	%	• 1	• 1	• 1	• 1
Contenuto di rocce degradabili, solfatiche o reagenti con alcali del cemento	CNR BU 104/84	%	• 1	• 1	• 1	• 1
Equivalente in sabbia	CNR B.U. 27/72	%	• 30	• 30	• 30	• 30
Indice Plasticità	CNR-UNI 10014	%	N.P.	N.P.	N.P.	• 6
Limite Liquido	CNR-UNI 10014	%	• 25	• 25	• 25	• 25

Ai fini dell'accettazione, prima dell'inizio dei lavori, l'Impresa è tenuta a predisporre la qualificazione degli aggregati tramite certificazione attestante i requisiti prescritti. Tale certificazione deve essere rilasciata da un Laboratorio specializzato.

Cemento - Il cemento è un legante idraulico, cioè un materiale inorganico finemente macinato che, mescolato con acqua, forma una pasta che rapprende e indurisce a seguito di processi e reazioni di idratazione e che, una volta indurita, mantiene la sua resistenza e la sua stabilità anche sott'acqua. I cementi sono costituiti da materiali differenti e di composizione statisticamente omogenea derivanti dalla qualità assicurata durante i processi di produzione e di manipolazione dei materiali. Potranno essere impiegati i 27 prodotti della famiglia dei cementi comuni conformi alla Norma UNI EN 197-1, raggruppati nelle seguenti cinque tipologie principali di cemento:

- CEM I Cemento (Portland);
- CEM II Cemento (Portland composito);
- CEM III Cemento (d'altoforno);
- CEM IV Cemento (pozzolanico);
- CEM V Cemento (composito).

La composizione di ciascuno dei 27 prodotti della famiglia dei cementi comuni dovrà risultare conforme a quanto previsto dal Prospetto 1 della stessa Norma UNI EN 197-1.

Acqua - L'acqua deve essere esente da impurità dannose, oli, acidi, alcali, materia organica, frazioni limo-argillose e qualsiasi altra sostanza nociva.

Miscela - La miscela di aggregati da adottarsi per la realizzazione del misto cementato deve avere una composizione granulometrica contenuta nel fuso riportato in **Tabella 7.4**.

Tabella 7.4
Requisiti granulometrici della miscela di aggregati riciclati per misti cementati

Vagli UNI EN	Apertura maglia (mm)	Passante (%)
Setaccio	31,500	100
Setaccio	20,000	70 – 100
Setaccio	14,000	55 – 78
Setaccio	10,000	45 – 65
Setaccio	4,000	28 – 42
Setaccio	2,000	18 – 30
Setaccio	0,500	8 – 18
Setaccio	0,125	5 – 13
Setaccio	0,063	2 – 10

Il contenuto di cemento ed il contenuto d'acqua della miscela, vanno espressi come percentuale in

massa rispetto al totale degli aggregati costituenti il misto granulare riciclato.

Tali percentuali saranno stabilite in base ad uno studio della miscela, effettuato in laboratorio, secondo le modalità indicate dal B.U. CNR n. 29/72, sulla base del quale verranno anche identificati i valori di massa volumica del secco e di resistenza da utilizzare come riferimento nelle prove di controllo.

Le miscele adottate dovranno possedere i requisiti riportati nella **Tabella 7.5**.

Tabella 7.5
Requisiti meccanici dei misti cementati confezionati con aggregati riciclati

Parametro	Normativa	Limiti
Resistenza a compressione R_c a 7gg	CNR B.U. n.29/72	$2,5 \cdot R_c \cdot 4,5 \text{ N/mm}^2$
Resistenza a trazione indiretta R_t a 7gg (Prova Brasiliana) (*)	CNR B.U. n.97/84	$R_t \cdot 0,25 \text{ N/mm}^2$
(*) I provini per la prova di trazione indiretta sono dello stesso tipo di quelli confezionati per la prova di compressione (CNR B.U. 29)		

Per particolari casi è facoltà della Direzione Lavori accettare valori di resistenza a compressione fino a $7,5 \text{ N/mm}^2$.

Nel caso in cui il misto cementato debba essere impiegato in zone in cui sussista il rischio di degrado per gelo-disgelo, è facoltà della Direzione Lavori richiedere che la miscela risponda ai requisiti della norma SN 640 509a.

7.2.3. – REQUISITI CHIMICI DEGLI AGGREGATI

I materiali riciclati debbono appartenere prevalentemente alle tipologie 7.1., 7.2., 7.11. e 7.17. previste dal D.M. 05/02/98, n. 72. Non sono ammessi materiali contenenti amianto e/o sostanze pericolose e nocive o con significativi contenuti di gesso. Pertanto, tali materiali debbono essere sottoposti ai test di cessione sul rifiuto come riportato in Allegato 3 del citato D.M. del 05/02/98, o a test equivalente di riconosciuta valenza europea (UNI 10802/2002).

Il contenuto totale di solfati e solfuri (Norma UNI EN 1744-1) deve essere $\leq 1 \%$. Se il materiale viene posto in opera a contatto con strutture in cemento armato, tale valore deve essere $\leq 0,5 \%$.

7.3 – ACCETTAZIONE DELLE MISCELE

L'Impresa è tenuta a comunicare alla Direzione Lavori, con congruo anticipo rispetto all'inizio delle lavorazioni e per ciascun cantiere di produzione, la composizione delle miscele che intende adottare. Ciascuna composizione proposta deve essere corredata da una completa documentazione dello studio di composizione effettuato.

Una volta accettato da parte della Direzione Lavori lo studio delle miscele, l'Impresa deve rigorosamente attenersi ad esso.

Nella curva granulometrica sono ammesse variazioni delle singole percentuali di l'aggregato grosso di ± 5 punti e di ± 2 punti per l'aggregato fino. In ogni caso non devono essere superati i limiti del fuso.

Per la percentuale di cemento nelle miscele è ammessa una variazione di $\pm 0,5\%$.

7.4 – CONFEZIONAMENTO DELLE MISCELE

Il misto cementato deve essere confezionato mediante impianti automatizzati, di idonee caratteristiche, mantenuti sempre perfettamente funzionanti in ogni loro parte.

L'impianto deve comunque garantire uniformità di produzione ed essere in grado di realizzare miscele rispondenti a quelle indicate nello studio presentato ai fini dell'accettazione.

La zona destinata allo stoccaggio degli aggregati deve essere preventivamente e convenientemente sistemata per evitare la presenza di sostanze argillose e ristagni di acqua che possano compromettere la pulizia degli aggregati. I cumuli delle diverse frazioni granulometriche devono essere nettamente separati tra di loro e l'operazione di rifornimento nei pre-dosatori va eseguita con la massima cura. Non è consentito il mescolamento di cementi diversi per tipo, classe di resistenza o provenienza. Il cemento deve essere adeguatamente protetto dall'umidità atmosferica e dalle impurità.

7.5 – PREPARAZIONE DELLE SUPERFICI DI STESA

La miscela verrà stesa sul piano finito dello strato precedente dopo che sia stata accertata dalla Direzione Lavori la rispondenza di quest'ultimo ai requisiti prescritti. Ogni depressione, avvallamento o ormaia presente sul piano di posa deve essere corretta prima della stesa. Prima della stesa è inoltre necessario verificare che il piano di posa sia sufficientemente umido e, se necessario, provvedere alla sua bagnatura evitando tuttavia la formazione di una superficie fangosa.

7.6 – POSA IN OPERA DELLE MISCELE

La stesa verrà eseguita impiegando macchine finitrici vibranti. Per il costipamento e la rifinitura verranno impiegati rulli lisci vibranti o rulli gommati (oppure rulli misti vibranti e gommati) tutti semoventi. L'idoneità dei mezzi di costipamento verrà determinata dalla Direzione Lavori sulla base dei risultati ottenuti su stese sperimentali in campo prove utilizzando le stesse miscele messe a punto con lo studio di laboratorio.

Il tempo massimo tra l'aggiunta dell'acqua alla miscela di inerti e cemento e l'inizio della compattazione non dovrà superare i 60 minuti.

Le operazioni di compattazione dello strato devono essere realizzate con apparecchiature e sequenze adatte a produrre il grado di addensamento e le prestazioni richieste. La stesa della miscela non deve di norma essere eseguita con temperature ambiente inferiori a 0°C e mai in presenza di pioggia.

Nel caso in cui le condizioni climatiche (temperatura, soleggiamento, ventilazione) comportino un'elevata velocità di evaporazione dell'acqua contenuta nella miscela, è necessario provvedere ad un'adeguata protezione delle miscele sia durante il trasporto che durante la stesa.

Il tempo intercorrente tra la stesa di due strisce affiancate non deve superare di norma le due ore per garantire la continuità della struttura.

Particolari accorgimenti devono adottarsi nella formazione dei giunti longitudinali che andranno protetti con fogli di polietilene o materiale simile. Il giunto di ripresa deve essere ottenuto terminando la stesa dello strato a ridosso di una tavola e togliendo la tavola al momento della ripresa della stesa. Se non si fa uso della tavola, prima della ripresa della stesa, occorre provvedere a tagliare l'ultima parte dello strato precedente, in modo che si ottenga una parete perfettamente verticale. Non devono essere eseguiti altri giunti all'infuori di quelli di ripresa.

7.7 – PROTEZIONE SUPERFICIALE DELLO STRATO FINITO

Subito dopo il completamento delle operazioni di costipamento e finitura, sullo strato finito, deve essere applicato un velo protettivo di emulsione bituminosa acida al 55% in ragione di 1-2 kg per m² (in relazione al tempo ed alla intensità del traffico di cantiere cui potrà venire sottoposto) e successivo spargimento di sabbia.

Il tempo di maturazione protetta non dovrà essere inferiore a 72 ore, durante le quali il misto cementato dovrà essere protetto dal gelo.

Il transito di cantiere potrà essere ammesso sullo strato a partire dal terzo giorno dopo quello in cui è stata effettuata la stesa e limitatamente ai mezzi gommati. Aperture anticipate sono consentite solo se previste nella determinazione della resistenze raggiunta dal misto.

Strati eventualmente compromessi dalle condizioni meteorologiche o da altre cause devono essere rimossi e sostituiti a totale cura e spese dell'Impresa.

7.8. - CONTROLLI

Il controllo della qualità dei misti cementati e della loro posa in opera, deve essere effettuato mediante prove di laboratorio sui materiali costituenti, sulla miscela prelevata allo stato fresco al momento della stesa, sulle carote estratte dalla pavimentazione e con prove in sito.

7.8.1. - CONTROLLI DEI MATERIALI COSTITUENTI

Oltre ai controlli iniziali necessari per l'accettazione, anche in corso d'opera, per valutare che non abbiano a verificarsi variazioni nella qualità dei materiali, devono essere effettuate prove di controllo su campioni prelevati in contraddittorio con la Direzione dei Lavori. Il controllo della qualità dei misti granulari riciclati impiegati per la formazione del misto cementato, deve essere effettuato mediante prove di laboratorio su campioni prelevati in impianto prima della miscelazione. Il numero dei campioni dipende dall'eterogeneità dei materiali interessati; per ogni approvvigionamento omogeneo la numerosità delle prove di attitudine deve rispettare i criteri quantitativi riportati nella **Tabella 7.6** per ogni tipo di controllo da effettuare, salvo diverse e documentate prescrizioni della Direzione dei Lavori.

Tabella 7.6
Frequenza dei controlli e requisiti delle forniture dei
misti granulari riciclati per la formazione di misti cementati

Controllo	Frequenza	Requisiti
Materiali componenti	Iniziale e per ogni lotto impiegato	Tabella 7.1.
Aggregato grosso	Iniziale e per ogni lotto impiegato	Tabella 7.2.
Aggregato fino	Iniziale e per ogni lotto impiegato	Tabella 7.3
Granulometria miscela	Iniziale e per ogni lotto impiegato	Tabella 7.4

7.8.2. - CONTROLLI DELLE MISCELE PRELEVATE IN FASE DI POSA IN OPERA

Il prelievo del misto cementato fresco avverrà in contraddittorio al momento della stesa. Sui campioni prelevati alla vibrofinitrice saranno effettuati, presso un Laboratorio specializzato, i controlli della distribuzione granulometrica dell'aggregato e la verifica delle caratteristiche di resistenza meccanica. La resistenza a compressione di ciascun prelievo sarà ottenuta come media dei valori di 4 provini, confezionati e portati a rottura secondo quanto previsto dal CNR B.U. n.29/72. La resistenza a trazione indiretta di ciascun prelievo sarà ottenuta come media dei valori determinati su 4 provini, confezionati secondo quanto previsto dal B.U. CNR n.29/72 e portati a rottura secondo quanto previsto dal CNR B.U. n.97/84. I valori rilevati in sede di controllo dovranno essere conformi a quelli dichiarati nella documentazione presentata prima dell'inizio dei lavori, ai sensi di quanto previsto al §7.3.

Il numero e la tipologia dei controlli da effettuare sul misto cementato prelevato al momento della posa in opera è riportato nella **Tabella 7.7**, salvo diverse e documentate prescrizioni della Direzione dei Lavori.

Tabella 7.7
Frequenza dei controlli e requisiti dei misti cementati
prelevati nella fase di posa in opera

Controllo	Frequenza	Requisiti
Granulometria miscela	Giornaliera oppure ogni 1000 m ² di stesa	Curva granulometrica di progetto
Resistenza a compressione a 7 gg. (CNR B.U. n.29/72)	Giornaliera oppure ogni 1000 m ² di stesa	Tabella 7.5.
Resistenza a trazione indiretta a 7 gg. (Prova brasiliana) (CNR B.U. n.97/84) (*)	Giornaliera oppure Ogni 1000 m ² di stesa	Tabella 7.5
(*) I provini per la prova di trazione indiretta sono dello stesso tipo di quelli confezionati per la prova di compressione (CNR B.U. 29)		

7.8.3. - CONTROLLI SUGLI STRATI FINITI

Il livello prestazionale degli strati posti in opera può essere accertato, in relazione alle caratteristiche del materiale impiegato, attraverso il controllo dell'addensamento raggiunto, rispetto al riferimento desunto dalle prove AASHO di laboratorio e attraverso il controllo della capacità portante.

A compattazione ultimata dovranno essere effettuati controlli della massa volumica del secco in sito effettuando le misure secondo la Norma (CNR B.U. n. 22/72).

I valori dei gradi di addensamento rilevati dovranno rispettare i limiti riportati nella **Tabella 7.8.** in almeno il 95% delle determinazioni effettuate.

La misura della portanza deve accertare che le prestazioni dello strato finito siano non inferiori a quelle previste nel Progetto delle sovrastrutture e siano conformi a quanto dichiarato prima dell'inizio dei lavori nella documentazione presentata dall'Impresa, ai sensi di quanto indicato al §7.3. La metodologia di indagine impiegata dovrà essere tale da fornire, parametri di controllo identici, o comunque direttamente confrontabili, con quelli utilizzati nel calcolo della pavimentazione.

A tale scopo, sono ammesse sia prove puntuali (prove di carico con piastra secondo la Norma CNR B.U. n. 146/92) sia prove ad elevato rendimento eseguite con il Falling Weight Deflectometer

(ASTM D4694/96) per la determinazione del modulo elastico equivalente "E". Sono ammesse sia prove effettuate direttamente sullo strato (prove di carico su piastra, rilievo delle deflessioni con Falling Weight Deflectometer), sia prove effettuate sullo strato ricoperto (con Falling Weight Deflectometer).

In ogni caso i valori dei moduli di deformazione M_d valutati al primo ciclo di carico nell'intervallo tra 0,15 e 0,25 N/mm² secondo la Norma CNR B.U. n.146/1992, rilevati in un tempo compreso tra 3 e 12 ore dal termine della compattazione, non potranno essere inferiori ai valori limite riportati nella **Tabella 7.8**, o ai limiti indicati in Progetto quando questi ultimi siano superiori.

I valori dei moduli elastici equivalenti "E" ricavati con il Falling Weight Deflectometer da rilievi effettuati dopo 7 giorni o dopo 60 giorni dalla posa in opera non potranno essere inferiori ai valori limite riportati nella **Tabella 7.8**, o ai valori indicati nel Progetto quando questi ultimi siano superiori.

Le superfici finite devono risultare perfettamente piane, con scostamenti rispetto ai piani di progetto non superiori a 10 mm, controllati mediante regolo rigido di 4 m di lunghezza (Norma UNI EN 13036-7/2004) disposto secondo due direzioni ortogonali.

Lo spessore medio dello strato finito deve essere quello previsto nel Progetto, con una tolleranza del 5% purché tale differenza si presenti solo nel 20% dei rilievi effettuati.

Salvo documentata diversa prescrizione della Direzione Lavori, la frequenza delle prove deve rientrare negli intervalli indicati in **Tabella 7.8**.

Tabella 7.8
Frequenza dei controlli e requisiti prestazionali degli strati
di misto cementato realizzati con misti granulari riciclati

Controllo	Traffico								Frequenza
	PP		P		M		L		
Grado di addensamento $\gamma_d/\gamma_{dmax, laboratorio}$ [%]	≥ 98 % AASHO Mod.								Giornaliera oppure ogni 1000 m ² di stesa
Modulo di deformazione M_d [N/mm²] (da prova con piastra tra 3 e 12 ore dalla compattazione)	≥ 150		≥ 150		≥ 120		≥ 120		Giornaliera oppure ogni 1000 m ² di stesa
	(o della prestazione prevista in progetto)								
Modulo elastico equiv. E [N/mm²] (*) (da rilievi con FWD dopo 7 o 60 giorni dalla compattazione)	7 gg. ≥ 2000	60 gg. ≥ 3000	7 gg. ≥ 1600	60 gg. ≥ 2500	7 gg. ≥ 1300	60 gg. ≥ 2000	7 gg. ≥ 1000	60 gg. ≥ 1500	Ogni 50 m di fascia stesa
	(o della prestazione prevista in progetto)								
Spessore a mezzo di carotaggi	spessore di progetto		spessore di progetto		spessore di progetto		spessore di progetto		Ogni 100 m di fascia stesa
Regolarità dei piani con regolo da 4 m (scostamento)	< 10 mm dai piani di progetto		< 10 mm dai piani di progetto		< 10 mm dai piani di progetto		< 10 mm dai piani di progetto		Ogni 50 m di fascia stesa
(*) Per rilievi effettuati tra 7 e 60 giorni dalla posa in opera è ammessa l'interpolazione dei valori limite indicati per i moduli elastici equivalenti "E".									

8. – COSTRUZIONE DEL CORPO DEI RILEVATI FERROVIARI

Il presente capitolo riguarda l'utilizzo di materiali riciclati provenienti prevalentemente dalle demolizioni edilizie; di seguito verranno definite le caratteristiche dei materiali di provenienza, degli impianti di trattamento e del materiale riciclato, le metodologie di posa in opera, i requisiti del prodotto finale, le modalità e le frequenze dei controlli.

8.1. - GENERALITÀ

L'utilizzo dei materiali riciclati per la realizzazione del corpo dei rilevati ferroviari è consentito solo per la porzione compresa tra il suo piano di posa fino a 2 m di quota dal piano di posa del sub-ballast o del ballast in assenza di sub-ballast, purché interessi tutta l'impronta del corpo del rilevato stesso.

Non sono ammesse alternanze di strati di questi materiali con quelli di terre dei gruppi A_1 , A_{2-4} , A_{2-5} , A_3 e A_4 della classificazione CNR UNI 10006/2002. Il rilevato ferroviario quindi sarà al massimo costituito da 2 fasce di materiali differenti in senso verticale; in senso orizzontale dovrà invece essere comunque garantita l'omogeneità dei materiali utilizzati. Questi ultimi dovranno comunque essere confinati tra opere quali tombini, attraversamenti, opere d'arte, ecc. onde evitare che, al contatto con materiali di caratteristiche differenti, si formino giunti o superfici di discontinuità.

I materiali riciclati provenienti da demolizioni edilizie, oggetto del presente capitolo, sono costituiti principalmente da materiali assortiti di varia natura; si tratta di laterizi, sfridi di lavorazioni edilizie, frammenti di conglomerati cementiti anche armati, scarti dell'industria di prefabbricazione di manufatti in calcestruzzo anche armato. Previo trattamento in appositi impianti di riciclaggio, di seguito definiti, i materiali di cui sopra possono essere utilizzati per la costruzione del corpo dei rilevati ferroviari purché rispondenti ai requisiti di cui al D.M. 05/02/98 n.72.

8.2. - DEFINIZIONI

Nel presente capitolo si applicano le seguenti definizioni:

- *i materiali riciclati*: derivano da materiali inorganici precedentemente utilizzati nelle costruzioni di opere civili o parte di esse (edifici, ponti, capannoni, strutture portanti, pali della luce, elementi costruttivi in genere, ecc.); essi devono essere trattati in appositi impianti in modo da ottenere i requisiti richiesti per il loro utilizzo; in relazione al prodotto di origine i materiali riciclati si dividono in due distinte categorie: le macerie e i calcestruzzi riciclati;
- *le macerie*: costituite da laterizi, prodotti ceramici, sfridi di lavorazioni edilizie, detriti inerti, frammenti di sovrastrutture stradali e di conglomerati cementiti anche armati, nonché da altri materiali di integrazione rispondenti ai requisiti del D.M. 05/02/98 n.72, individuabili nelle tipologie 7.1 ("rifiuti costituiti da laterizi, intonaci e conglomerati di cemento armato e non, comprese le traverse e traversoni ferroviari i pali in calcestruzzo armato provenienti da linee ferroviarie, telematiche ed elettriche e frammenti di rivestimenti stradali purché privi di amianto"), 7.2 ("rifiuti di rocce da cave autorizzate"), 7.11 ("pietrisco tolto d'opera") e 7.17 ("rifiuti costituiti da pietrisco di vagliatura del calcare"), e a quelli del presente capitolo;
- *i calcestruzzi riciclati*: costituiti prevalentemente da frammenti di conglomerati cementizi anche armati provenienti da demolizioni di opere in cemento armato, dagli scarti dell'industria di prefabbricazione di manufatti in cemento anche armato, da traversine ferroviarie in c.a.v.p., ecc.

8.3. – CAMPO DI APPLICAZIONE

Le prescrizioni del presente capitolo sono valide solo se completate da elaborati progettuali che definiscono, per ogni singolo progetto, quantità e modalità di impiego dei materiali, nonché i campi di applicabilità specificati nell'Appendice 8.A che costituisce parte integrante del capitolato stesso. È fatto divieto di impiegare i materiali riciclati, sia quelli denominati *calcestruzzi*, sia quelli denominati *macerie*, come ultimo strato fortemente compattato (ovvero supercompattato) nella realizzazione di rilevati ferroviari e come sottofondo di rilevati stradali. Gli elaborati progettuali devono essere redatti sulla base delle indicazioni riportate nell'Appendice 8.A.

8.4. – DOCUMENTAZIONE E NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Le Norme di riferimento, oltre a quelle previste nei manuali e nei capitolati, nell'edizione più aggiornata, sono le seguenti:

CNR-UNI 10008/63	Prove su materiali stradali. Umidità di una terra
CNR-UNI 10009/64	Prove su materiali stradali. Indice C.B.R.
ASTM D4429-04	Standard Test Method for C.B.R. of Soils in Place
CNR B.U. n.69/78	Prova di costipamento di una terra
UNI 8520 Parte 11	Determinazione del contenuto in Solfati
UNI 8520 Parte 14	Aggregati per confezione di calcestruzzi. Determinazione colorimetrica del contenuto di sostanze organiche negli aggregati fini
CNR B.U. n.22/72	Peso specifico di una terra in sito
CNR B.U. n.25/72	Campionatura di terre e terreni
UNI EN 932-1/98	Metodi di prova per determinare le proprietà generali degli aggregati – Metodi di Campionamento
CNR B.U. n.23/71	Analisi granulometrica di una terra
UNI EN 933-1/99	Prove per determinare le caratteristiche geometriche degli aggregati – Determinazione della distribuzione granulometrica – Analisi granulometrica per setacciatura
CNR B.U. n.146/92	Determinazione dei moduli di deformazione M_d e M_d' mediante prova di carico a doppio ciclo con piastra circolare
CNR-UNI 10014/64	Determinazione dei limiti di consistenza di una terra
CNR-UNI 10013/64	Prove sulle terre – Peso specifico dei granuli
UNI EN 1097-6/02	Prove per determinare le proprietà meccaniche e fisiche degli aggregati – Determinazione della massa volumica dei granuli e dell'assorbimento d'acqua
AGI	Raccomandazioni sulle prove geotecniche di laboratorio
CNR B.U. n.95/84	Forma degli aggregati lapidei – Determinazione dell'indice di forma
CNR B.U. n.95/84	Forma degli aggregati lapidei – Determinazione dell'indice di appiattimento
UNI EN 933-4/04	Prove per determinare le caratteristiche geometriche degli aggregati – Determinazione della forma dei granuli – Indice di forma
UNI EN 933-3/04	Prove per determinare le caratteristiche geometriche degli aggregati – Determinazione della forma dei granuli – Indice di appiattimento
D.M. 05/02/1998	Individuazione dei rifiuti non pericolosi sottoposti alle procedure semplificate di recupero ai sensi degli articoli 31 e 32 del Decreto Legislativo 05/02/1997 n.22
UNI EN 196-21/91	Metodi di prova dei cementi – Determinazione del contenuto di cloruri, anidride carbonica e alcali nel cemento
D.M. 14/05/1996	Normativa e metodologia per gli interventi di bonifica (amianto)

L. 27/03/92 n.257	Norme relative alla cessazione dell'impiego dell'amianto
UNI EN 1744-1/99	Prove per determinare le proprietà chimiche degli aggregati – Analisi chimica
CNR B.U. n.34/73	Determinazione della perdita in peso per abrasione di aggregati lapidei con l'apparecchio "Los Angeles"
UNI EN 1097-2/99	Prove per determinare le proprietà meccaniche e fisiche degli aggregati – Metodi per la determinazione della resistenza alla frammentazione

8.5. – CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

I materiali riciclati provenienti dalle demolizioni edilizie dovranno appartenere prevalentemente alle tipologie 7.1. ("rifiuti costituiti da laterizi, intonaci e conglomerati di cemento armato e non, comprese le traverse e traversoni ferroviari i pali in calcestruzzo armato provenienti da linee ferroviarie, telematiche ed elettriche e frammenti di rivestimenti stradali purché privi di amianto"), 7.2. ("rifiuti di rocce da cave autorizzate"), 7.11. ("pietrisco tolto d'opera") e 7.17. ("rifiuti costituiti da pietrisco di vagliatura del calcare") del D.M. 05/02/98 n.72. Non sono ammessi materiali contenenti amianto e/o sostanze pericolose e nocive e con significativi contenuti in gesso. Pertanto, tali materiali dovranno essere sottoposti ai test di cessione sul rifiuto come riportato nell'Allegato 3 del citato D.M. 05/02/98.

8.6. – CARATTERISTICHE DELL'IMPIANTO DI RICICLAGGIO

L'impianto potrà essere organizzato in modo tale da:

- consentire il controllo della qualità dei materiali in arrivo per una verifica delle caratteristiche e dell'idoneità all'utilizzo;
- essere dotato di una zona debitamente attrezzata e delimitata per lo stoccaggio provvisorio del materiale;
- consentire l'alimentazione dell'impianto di trattamento mediante mezzo meccanico (per esempio una pala gommata), evitando che lo stesso venga alimentato direttamente dagli autocarri in arrivo;
- consentire, in uscita all'alimentatore, il controllo qualitativo dei materiali e, con stoccaggio separato tramite un by-pass, la successiva eventuale esclusione dal ciclo produttivo del materiale non idoneo e/o pericoloso;
- consentire una prima vagliatura mediante vibrovaglio, per l'eliminazione della frazione fine, e il convogliamento del materiale nella camera di frantumazione del mulino, in modo da avere la riduzione granulometrica dei detriti e il distacco perfetto delle armature di acciaio dal calcestruzzo;
- consentire l'individuazione di sostanze pericolose e/o nocive;
- essere dotato di un primo deferizzatore, per separare l'acciaio presente e provvedere allo stoccaggio in un apposito contenitore metallico;
- essere dotato di un secondo deferizzatore, posto più vicino al nastro, (per le parti metalliche minute eventualmente sfuggite al primo deferizzatore);
- essere dotato di un vibrovaglio, per la selezione delle frazioni granulometriche. Le frazioni di materiale non idoneo (carta, residui di legno, frazioni leggere, ecc.) devono essere invece automaticamente separate, anche in più stadi e convogliate in appositi contenitori;

Tali caratteristiche impiantistiche si intendono di riferimento e, quindi, non vincolanti.

Per garantire la costante qualità del prodotto, a prescindere dalle tipologie in alimentazione,

l'impianto dovrà essere strutturato in modo tale da consentire la compensazione di carenze o eccedenze di frazioni granulometriche, dovute al materiale immesso nel ciclo, mediante la presenza di adeguate stazioni di vagliatura, in modo tale che, sul nastro trasportatore che alimenta lo stoccaggio finale del prodotto, sia presente l'intero assortimento granulometrica richiesto.

L'impianto dovrà essere dotato di adeguate aree per lo stoccaggio del materiale suddiviso nelle tipologie come previsto nel seguente § 8.7.

L'impianto di trattamento dovrà essere *qualificato* dalla Direzione Lavori per stabilirne l'idoneità alla fornitura del materiale, nonché la rispondenza alle prescrizioni metodologiche del processo dettagliate al punto 7.1.3 del D.M. 05/02/98 n.72. Ai fini del mantenimento degli standard qualitativi dell'impianto stesso, dovranno essere effettuate *visite di efficienza* dell'impianto ogni 20000 m³ di materiale lavorato e comunque almeno una ogni 6 mesi.

8.7. – CARATTERISTICHE DEL MATERIALE RICICLATO

I materiali riciclati, che possono essere utilizzati per la costruzione dei corpi dei rilevati ferroviari, sono quelli rispondenti al D.M. 05/02/98 n.72, relativi alle tipologie 7.1, 7.2, 7.11, 7.17, e aventi le caratteristiche ed i requisiti riportati nel presente capitolo; è assolutamente vietato l'utilizzo di materiali riciclati, anche aventi le origini indicate nel D.M. 05/02/98 n.72, ma che non rispondano ai requisiti riportati nel presente § 8.

Il materiale denominato *calcestruzzo riciclato* dovrà avere le seguenti caratteristiche:

Tabella 8.1
Caratteristiche del calcestruzzo riciclato

Componenti	Percentuale in massa
<u>Componenti principali:</u>	
Calcestruzzo (massa volumica apparente > 2,1 MN/m ³)	> 80%
Materiali litoidi frantumati (*)	< 10%
<u>Altri componenti:</u>	< 10%
Muratura frantumata	< 10%
Malte e/o conglomerati bituminosi frantumati	< 5%
<u>Altre sostanze:</u>	
Componenti non litoidi	< 0,1%
Argilla e limo	< 1%
Sostanze organiche	nei limiti della Norma UNI 8520 parte 14
(*) Sono esclusi materiali argillo-scistosi e gessoso-solfatici	

Il materiale denominato *macerie* dovrà avere le seguenti caratteristiche:

Tabella 8.2
Caratteristiche delle macerie

Componenti	Percentuale in massa
<u>Componenti principali:</u> Scarti edilizi di murature, rivestimenti e allettamenti (massa volumica apparente $> 1,6 \text{ MN/m}^3$), Calcestruzzo (massa volumica apparente $> 2,1 \text{ MN/m}^3$) e Roccia frantumata (*)	$> 80\%$
<u>Altri componenti:</u> Componenti litoidi e terre incoerenti (*) con massa volumica apparente $< 1,6 \text{ MN/m}^3$	$< 20\%$
Malte e/o conglomerati bituminosi frantumati	$< 5\%$
<u>Altre sostanze:</u> Componenti non litoidi e argilla (*)	$< 1\%$
Sostanze organiche	nei limiti della Norma UNI 8520 parte 14
(*) Sono esclusi materiali argillo-scistosi e gessoso-solfatici	

I materiali riciclati (calcestruzzi e macerie), dovranno essere sottoposti in laboratorio a prove di costipamento con energia AASHO Modificata per la determinazione del valore massimo della massa volumica e dell'umidità ottima (Norma CNR B.U. n.69/78).

Per la realizzazione di rilevati ferroviari con macerie e calcestruzzi riciclati (tipologie 7.1, 7.2, 7.11 e 7.17; **Tabelle 8.1 e 8.2**) è vietata la miscelazione con altre sostanze, anche individuabili nelle altre tipologie del D.M. 05/02/98, qualora le suddette miscele non siano state previamente e specificatamente testate ed approvate dalla Direzione Lavori.

È consentito miscelare le macerie e i calcestruzzi riciclati con sabbie, per migliorarne l'assortimento granulometrica; il prodotto della miscelazione deve comunque rispondere a tutti i requisiti di cui al presente § 8.

8.8. – REQUISITI

I materiali riciclati (calcestruzzi e macerie), prima della loro posa in opera, dovranno rispondere ai requisiti di seguito riportati e risultanti da prove di laboratorio sui campioni rappresentativi prelevati secondo le modalità indicate nella Norma UNI EN 932-1.

8.8.1. – REQUISITI DIMENSIONALI

Granulometria (Norma CNR B.U. n.23/71, Norma UNI EN 933-1/99)

La granulometria del materiale, secondo la Norma CNR B.U. n.23/71 dovrà essere definita utilizzando almeno i seguenti setacci della serie UNI EN aventi aperture di dimensioni (mm): 0,063, 0,125, 0,250, 0,500, 1, 2, 4, 8, 16, 31, 50, 63, 100, 140.

La curva granulometrica deve essere continua, caratterizzata da un grado di uniformità G.U. $(=D_{60}/D_{10}) \cdot 15$; il passante al setaccio da 0,5 mm deve essere maggiore del 10% ed il passante al setaccio da 0,063 mm deve essere invece inferiore al 15%.

La dimensione massima dei granuli non dovrà essere superiore a 70 mm con i limiti di accettabilità riportati nella seguente **Tabella 8.3**.

Tabella 8.3
Limiti di accettabilità delle dimensioni degli aggregati riciclati

D Dimensione massima [mm] 70	Passante [%]				
	2D	1,4D	D	0,5 mm	0,063 mm
	100	95 ÷ 100	90 ÷ 100	• 10	• 15

Indice di appiattimento (Norma CNR B.U. n.95/84 - Norma UNI EN 933-3/04)

Per la frazione di aggregati di dimensione superiore a 4 mm, l'indice di appiattimento dovrà essere • 35.

Indice di forma (Norma CNR B.U. n.95/84 - Norma UNI EN 933-4/04)

L'indice di forma degli aggregati dovrà essere • 35.

8.8.2. – REQUISITI FISICI E MACCANICI

Coefficiente Los Angeles (Norma CNR B.U. n.34/73 - Norma UNI EN 1097-2/99)

Il coefficiente Los Angeles deve essere • 40.

Rigonfiamento (Norma CNR UNI 10009/64)

La percentuale di rigonfiamento, determinata secondo le modalità della prova C.B.R. dovrà essere inferiore all' 1%.

Indice di plasticità (Norma CNR UNI 10014/64)

I materiali riciclati devono avere un indice di plasticità I.P. < 6.

8.8.3. – REQUISITI CHIMICI

Contenuto di solfati e solfuri (Norma UNI EN 1744-1/99)

Il contenuto totale di solfati e solfuri deve essere • 1%. Se il materiale viene posto in opera a contatto con strutture in cemento armato, tale valore dovrà essere • 0,5%.

8.8.4. – ALTRI COMPONENTI

Contenuto di sostanze organiche (Norma UNI EN 1744-1/99 - Norma UNI 8520 Parte 14)

Il contenuto di sostanze organiche dovrà rispettare quanto previsto nella Norma UNI 8520 Parte 14 (relativa agli aggregati per calcestruzzi) con la determinazione colorimetrica del contenuto di sostanze organiche negli aggregati fini.

8.9. – REQUISITI DEL MATERIALE IN OPERA

Il materiale riciclato, dopo la compattazione, dovrà rispondere ai seguenti requisiti.

8.9.1. – REQUISITI DIMENSIONALI

Granulometria (Norma CNR B.U. n.23/71 - Norma UNI EN 933-1/99)

La percentuale di materiale passante al setaccio da 0,063 mm non dovrà essere superiore al 20%.

8.9.2. – REQUISITI FISICI

Modulo di deformazione (Norma CNR B.U. n.146/92)

Il modulo di deformazione M_d , determinato mediante prova di carico su piastra di diametro da 30 cm, al primo ciclo di carico non dovrà essere inferiore a:

- 20 MPa: nell'intervallo 0,15 – 0,25 MPa, per gli strati dei rilevati ferroviari e strade di pertinenza FS limitatamente alla fascia di 1 m dal bordo della scarpata;
- 20 MPa: nell'intervallo 0,05 – 0,15 MPa, per gli strati di bonifica e del piano di posa dei rilevati
- 40 MPa: nell'intervallo 0,15 – 0,25 MPa, per i rilevati ferroviari e di strade di pertinenza FS; per i piani di posa in trincea;
- 15 MPa: nell'intervallo 0,05 – 0,15 MPa, per le dune, colline artificiale, ritombamenti, sistemazioni ambientale, ecc.;
- Valore da definire: con Ente gestore per le strade destinate a Terzi.

Grado di addensamento (Norma CNR B.U. n.69/78, Norma CNR B.U. n.22/72)

Il grado di addensamento, determinato mediante il rapporto tra la massa volumica del secco raggiunta in sito e quella massima del secco ottenuta in laboratorio con energia di costipamento AASHO modificata, dovrà essere non inferiore a:

- 95% per il piano di posa dei rilevati ferroviari e stradali di pertinenza FS;
- 98% per i rilevati ferroviari e stradali di pertinenza FS, per i piani di posa in trincea;
- 90% per le dune, colline artificiali, ritombamenti, sistemazioni ambientali, ecc.;
- Valore da definire: con l'Ente gestore, per le strade destinate a Terzi.

Nella seguente **Tabella 8.4** sono sinteticamente riportati i requisiti richiesti per strati dei corpi dei rilevati ferroviari in opera.

Tabella 8.4
Requisiti degli strati del corpo dei rilevati ferroviari ⁽¹⁾

Strato		Passante al setaccio 0,063 mm [%] UNI EN 933-1	Grado di addensamento $\gamma_d/\gamma_{dmax,laboratorio}$ [%] CNR B.U. n. 69/78 CNR B.U. n. 22/72	Modulo di deformazione CNR B.U. n.146/1992	
				Intervallo di carico [N/mm ²]	M _d [N/mm ²]
Piano di posa del rilevato o bonifica		• 20	≥ 95 % AASHO Mod.	0,05 ÷ 0,15	≥ 20
Corpo del rilevato ⁽¹⁾	limitatamente alla fascia di 1 m dal bordo della scarpata	• 20	≥ 98 % AASHO Mod.	0,15 ÷ 0,25	≥ 20
	con esclusione delle fasce di 1 m dal bordo delle scarpate	• 20	≥ 98 % AASHO Mod.	0,15 ÷ 0,25	≥ 40
⁽¹⁾ Strati posti a più di 2,0 m dal piano di posa dello strato di sub-ballast.					

8.10. – POSA IN OPERA

8.10.1. – COMPATTAZIONE E FINITURA

Il materiale dovrà essere steso in strati non superiori a 30 cm e costipato mediante rullatura. La superficie superiore degli strati avrà una pendenza trasversale pari a circa il 3% e comunque tale da garantire lo smaltimento delle acque meteoriche; dovrà essere evitata la formazione di avvallamenti e solchi. Detta pendenza dovrà essere mantenuta durante il lavoro e il transito dei mezzi di cantiere, impiegando allo scopo le livellatrici.

Le operazioni di compattazione dovranno essere determinate mediante la messa a punto degli schemi di rullatura che dovranno essere definiti prima dell'inizio dei lavori.

Salvo diverse indicazioni della Direzione Lavori viene stabilito che:

- la stesa del materiale deve essere eseguita con regolarità per strati di spessore costante, con modalità e attrezzature atte a evitare segregazione, brusche variazioni granulometriche e del contenuto d'acqua;
- per evitare disomogeneità dovute alla segregazione che si verifica durante lo scarico dai mezzi di trasporto, il materiale deve essere depositato subito a monte della superficie d'impiego, per esservi successivamente riportato dai mezzi di stesa;
- la granulometria dei materiali costituenti i diversi strati del corpo del rilevato deve essere la più omogenea possibile. In particolare, deve evitarsi di porre in contatto strati di materiale a granulometria poco assortita o uniforme (tale, cioè, da produrre nello strato compattato elevata percentuale dei vuoti), a strati di materiali a grana più fine che, durante l'esercizio, per effetto delle vibrazioni prodotte dal traffico, possano penetrare nei vuoti degli strati sottostanti, provocando cedimenti per assestamento del corpo del rilevato;
- ciascuno strato può essere messo in opera, pena la rimozione, soltanto dopo avere accertato, mediante prove di controllo, l'idoneità dello strato precedente.

8.11. – CONTROLLI

8.11.1. – CONTROLLI IN IMPIANTO

Dovrà essere verificato che il materiale prodotto nell'impianto di riciclaggio è destinato alla realizzazione delle opere abbia i requisiti riportati al § 8.7. e al §8.8.; il controllo dovrà essere eseguito su un campione significativo prelevato con frequenza di almeno 1 ogni 3000 m³, come riportato nella **Tabella 8.5**.

8.11.2. – CONTROLLI SUI MATERIALI DA METTERE IN OPERA STOCCATI IN CANTIERE

I controlli e le prove da effettuare in corso d'opera dovranno essere riportate in apposito Piano di Controllo Qualità (PCQ), che dovrà essere preventivamente approvato dalla Direzione Lavori.

Il PCQ, corredato dalla documentazione relativa ai controlli e alle prove di seguito elencate farà parte del Dossier Qualità dell'Opera.

Prima della messa in opera è necessario verificare che il materiale abbia i requisiti riportati nel § 8.7 e nel §8.8.; il controllo dovrà essere eseguito su un campione significativo prelevato con frequenza di almeno 1 ogni 3000 m³, come riportato nella **Tabella 8.5**.

Tabella 8.5
Frequenza dei controlli dei materiali per il corpo dei rilevati ferroviari

Controllo	Ubicazione prelievo	Frequenza
Controllo dei requisiti di cui alle Tabelle 8.1. e 8.2.	Impianto e cantiere	ogni 3000 m ³
Analisi granulometrica (CNR B.U. n.23/71 - UNI EN 933-1/99)	Impianto e cantiere	ogni 3000 m ³
Costipamento AASHO Mod. (CNR B.U. n.69/78)	Impianto e cantiere	ogni 3000 m ³
Rigonfiamento (CNR UNI 10009/64)	Impianto e cantiere	ogni 3000 m ³
Indice di appiattimento (CNR B.U. n.95/84 – UNI EN 933-3/04)	Impianto e cantiere	ogni 3000 m ³
Indice di forma (CNR B.U. n.95/84 - UNI EN 933-4/04)	Impianto e cantiere	ogni 3000 m ³
Coefficiente Los Angeles (CNR B.U. n.34/73 - UNI EN 1097-2/99)	Impianto e cantiere	ogni 3000 m ³
Indice di plasticità (CNR UNI 10014/64)	Impianto e cantiere	ogni 3000 m ³
Contenuto di solfati e solfuri (UNI EN 1744-1/99)	Impianto e cantiere	ogni 3000 m ³
Contenuto di sostanze organiche (UNI EN 1744-1/99 - UNI 8520 Parte 14)	Impianto e cantiere	ogni 3000 m ³

8.11.3. - CONTROLLI SUL PRODOTTO FINALE

Ogni 2000 m² di materiale steso in opera e compattato, si dovrà verificare che le caratteristiche del prodotto finale rispettino i requisiti riportati nel § 8.9.

Dovranno quindi essere eseguite, con le modalità indicate nei precedenti paragrafi le seguenti prove:

- analisi granulometrica;
- prova di carico con piastra a doppio ciclo con misura dei moduli di deformazione;
- determinazione del grado di addensamento;
- misura dello spessore dello strato.

Anche tali controlli dovranno essere pianificati in un PCQ (Piano di Controllo Qualità) e documentati attraverso bollettini che faranno parte del Dossier Qualità dell'Opera.

Nella **Tabella 8.6** sono sinteticamente riportate le prove da effettuarsi per il controllo degli strati finiti del corpo dei rilevati ferroviari e la relativa frequenza.

Tabella 8.6
Frequenza dei controlli sugli strati finiti del corpo dei rilevati

Controllo	Modalità di prova	Frequenza dei controlli
Grado di addensamento	CNR B.U. N.22/1972	ogni 2000 m ²
Moduli di deformazione M _d e M _d '	CNR B.U. N.146/1972	ogni 2000 m ²
Analisi granulometrica	UNI EN 933-1	ogni 2000 m ²
Misura dello spessore dello strato	-	ogni 2000 m ²

Il controllo del grado di costipamento mediante misure di massa volumica in sito può essere effettuato soltanto se, come previsto dalla norma CNR B.U. n.69/78, la frazione di materiale trattenuta al setaccio da 20 mm UNI EN 932-2 non supera il 35% della massa totale. In questo caso il controllo può essere effettuato previa correzione del peso di volume del secco in sito, per tenere conto della presenza di elementi lapidei di dimensioni maggiori di 20 mm determinando la massa volumica in sito tramite la relazione:

$$\gamma_{d,sito} = \frac{P_d - P'_d}{V - V'}$$

P_d : massa totale dopo essiccazione del materiale prelevato;

V : volume totale occupato in sito dal materiale prelevato;

P'_d : massa del secco della frazione trattenuta al setaccio UNI EN 20 mm;

V' = P'_d / γ_s : volume della frazione trattenuta al setaccio UNI EN 20 mm;

γ_s : massa volumica apparente della frazione trattenuta al setaccio UNI EN 20 mm.

La Direzione Lavori potrà disporre, in alternativa, o anche ad integrazione delle misure di modulo di deformazione, l'effettuazione del controllo della portanza degli strati finiti mediante misure di deflessione, operando con mezzi ad elevato rendimento come il Falling Weight Deflectometer (ASTM D4694/96) che consente la determinazione del modulo elastico equivalente "E". Le soglie da raggiungere debbono essere determinate, preliminarmente, sulla base delle correlazioni stabilite in campo prova tra il modulo "E" e il modulo di deformazione M_d, tenuto conto del materiale in esame e del valore del modulo "E" stesso previsto nel progetto della sovrastruttura. Le misure di deflessione risultano, generalmente, assai più rapide dalle misure di modulo di deformazione e, pertanto, possono essere convenientemente predisposte per ottenere una rappresentazione della variazione della portanza sull'intera estensione dello strato esaminato, sia in senso longitudinale, sia in senso trasversale, se ciò è ritenuto necessario. Queste determinazioni possono inoltre rappresentare la base per la scelta dei punti in cui effettuare misure del modulo di deformazione M_d se occorre determinare la distribuzione spaziale della portanza degli strati del corpo del rilevato realizzati, finalizzata al sezionamento del rilevato in tronchi omogenei di portanza.

8.A. – APPENDICE

8.A.1. – ALTRE OPERE DA REALIZZARE CON MATERIALI PROVENIENTI DALLE DEMOLIZIONI EDILIZIE

L'utilizzo dei materiali provenienti dalle demolizioni edilizie è consentito:

- nella costruzione del corpo dei rilevati stradali delle strade di pertinenza FS e delle strade da consegnare a Enti Terzi, qualora l'Ente gestore ne condivida l'utilizzo;
- nella realizzazione dello strato di bonifica dei rilevati stradali e ferroviari;
- nella realizzazione di opere in terra, quali dune, colline artificiali, ritombamenti, sistemazioni ambientali, ecc.

con le delimitazioni riportate in seguito:

tutte le opere realizzate con questi materiali dovranno essere protette dalle infiltrazioni di acque meteoriche, di risalita capillare, allagamenti, ecc. Ciascun materiale dovrà essere posto in opera in quantitativi non inferiori a 10000 m^3 e in modo tale da mantenere un'omogeneità in senso orizzontale. Non sono ammesse alternanze di materiali diversi.

8.A.2. – BONIFICA DEL TERRENO DI SEDIME

Il trattamento dello strato di bonifica verrà realizzato solo nei casi nei quali, sulla base di un'analisi geotecnica del problema, se ne dimostri la necessità. Qualora si rendesse necessaria la realizzazione di tale strato è indispensabile definire, sempre mediante un'analisi geotecnica, le dimensioni dell'intervento (spessore e estensione).

Salvo diverse indicazioni della Direzione Lavori, l'idoneità dei materiali riciclati da impiegare per la realizzazione di strati di bonifica dei piani di posa dei rilevati, comunque situati a distanza superiore a 2,00 m dal piano di posa dello strato di sub-ballast, dovrà essere valutata sulla base dei requisiti indicati nel §8.8. e nel §8.9.

8.A.3. – VERIFICHE DI STABILITÀ

Per quanto riguarda le verifiche di stabilità globale di cui al D.M. 11/03/88, i parametri di resistenza al taglio dei materiali, che costituiscono le opere in materiale riciclato, da utilizzare nelle verifiche, non devono superare i valori risultanti dalle eventuali prove di laboratorio eseguite sui campioni addensati con energia AASHO Modificata ovvero da altri test sperimentali accettati dalla Direzione Lavori.

8.A.4. – CAMPO PROVA

Il campo prova dovrà essere predisposto quando, entro un tratto di linea di 5 km, l'impiego dei materiali riciclati per la realizzazione degli strati del corpo dei rilevati supera complessivamente il volume di 30000 m^3 .

Il campo prova deve essere controllato mediante la determinazione del modulo di deformazione M_d con piastra da 30 cm (CNR B.U. n.146/92); le misure devono essere effettuate, per ogni strato, in almeno 5 punti appartenenti a una porzione di rilevato omogenea sia per quanto attiene alle miscele impiegate sia per le modalità di compattazione. Dovranno inoltre essere misurati i valori dell'indice di portanza C.B.R. in sito (ASTM D4429/04), della massa volumica (CNR B.U. n.22/72), del contenuto di acqua (CNR UNI 10008/63) nelle porzioni di terreno in vicinanza dei punti di misura del modulo di deformazione, nonché gli spessori degli strati finiti. Dovranno inoltre essere effettuate prove granulometriche su campioni di materiale già costipato per un confronto con le granulometria effettuate sugli stessi materiali prima della messa in opera.

Il progetto del campo prova, definito nel dettaglio, dovrà essere presentato dall'Impresa e approvato dalla Direzione Lavori.

I risultati ottenuti con il campo prova, dovranno soddisfare i requisiti richiesti al § 8.8, § 8.9, §8.10, qualora questi non venissero raggiunti, dovranno essere modificati i metodi di compattazione, fino al raggiungimento degli stessi e/o escluso l'impiego del materiale sperimentato.

Le prove con piastra a doppio ciclo di carico (CNR B.U. n.146/92) consentiranno la determinazione del rapporto M_d'/M_d tra i moduli di deformazione al secondo ed al primo ciclo di carico. Il valore di tale rapporto potrà costituire un elemento di giudizio, da parte della Direzione Lavori, circa la qualità del costipamento ottenuto.

A titolo orientativo e salvo diverse indicazioni della Direzione Lavori, per quanto attiene alle modalità operative che dovranno essere dettagliate nel Progetto presentato dall'Impresa per l'approvazione alla Direzione Lavori, si segnala che:

- l'area prescelta per la prova in vera grandezza deve essere perfettamente livellata, compattata e tale da presentare caratteristiche di deformabilità analoghe a quelle dei materiali in esame;
- la larghezza della stesa di prova deve risultare almeno pari a tre volte quella del rullo;
- i materiali vanno stesi in strati di spessore costante (o variabile qualora si voglia individuare lo spessore ottimale), provvedendo a compattarli con regolarità ed uniformità e simulando, durante tutte le fasi di lavoro, le modalità esecutive che poi saranno osservate nel corso dei lavori;
- per ciascun tipo di materiale e per ogni modalità esecutiva, occorre mettere in opera almeno 2 o 3 strati successivi; per ciascuno di essi vanno eseguite prove di controllo dopo successive passate (ad esempio, dopo 4, 6, 8, passate).

L'onere economico della sperimentazione in campo prove è compreso nel prezzo d'appalto e, quindi, cade a carico dell'Impresa. Il sito della prova può essere compreso nell'area d'ingombro del corpo del rilevato ferroviario: in questo caso dopo la sperimentazione è fatto obbligo all'Impresa di demolire le sole parti del manufatto non accettabili rispetto alle prestazioni ad esse richieste nella configurazione finale.

La sperimentazione va completata prima di avviare l'esecuzione dei rilevati, per essere di conferma e di riferimento al programma dettagliato dei movimenti di materia e alle modalità delle lavorazioni; in ogni caso, se applicata a materiali diversi deve precedere, per ciascuno di essi, l'inizio del relativo impiego nell'opera. Analogamente la sperimentazione va ripetuta in caso di variazione del parco macchine o delle modalità esecutive.

Nei casi in cui la Direzione Lavori disponga l'effettuazione di controlli in corso d'opera attraverso determinazioni ad alto rendimento come quelle che utilizzano il Falling Weight Deflectometer (ASTM D4694/96) che consentono la determinazione del modulo elastico equivalente "E", le indagini preliminari su campo prova sono finalizzate anche a stabilire le necessarie correlazioni tra i valori del grado di addensamento (CNR B.U. n.69/78 e CNR B.U. n.22/72) e/o dei moduli di deformazione M_d e M_d' (CNR B.U. n.146/92) e quelli dei moduli elastici equivalenti "E" determinati tramite il Falling Weight Deflectometer (ASTM D4694/96).

I risultati delle prove vanno riportati in apposito Verbale redatto dalla Direzione Lavori, che ne trae le conclusioni sull'accettazione dei materiali sperimentati, delle macchine operatrici e sulle modalità di posa in opera.

8.A.5. – ELABORATI GRAFICI PROGETTUALI

Profilo longitudinale

Scala: 1:500/1/5000

Contenuto: oltre a tutti i dati della tavola profilo longitudinale dovranno essere indicate le fasce di utilizzo del materiale riciclato, definite con la progressiva chilometrica di inizio e di fine.

Sezioni tipo

Scala: 1:50

Contenuto: oltre a tutti i dati della tavola sezioni tipo dovranno essere indicate le quote di riferimento per la definizione della fascia di utilizzo dei materiali nonché le indicazioni dei materiali stessi.

Relazione tecnica

Contenuto: dovranno essere indicati tutti i dati relativi all'approvvigionamento dei materiali; dovranno essere riportate le caratteristiche dei materiali determinate sulla base dei risultati delle prove di laboratorio (i cui certificati saranno allegati alla relazione stessa); inoltre, dovranno essere riportate le verifiche di stabilità globale di cui al D.M. 11/03/88.

Piano di monitoraggio in corso d'opera

Contenuto: verranno riportate le necessarie indicazioni sull'eventuale sistema di monitoraggio, sul tipo e sulle modalità di installazione delle strumentazioni per monitoraggi in corso d'opera e per l'esercizio. Dovranno essere indicati tutti i dati relativi alle tipologie e frequenze dei controlli, l'architettura del sistema di monitoraggio, il tipo di trasmissione dati, la sua configurazione, ecc.

9. – COSTRUZIONE DEI SOTTOFONDI FERROVIARI

Non è consentito l'impiego di aggregati riciclati per la costruzione di strati di sottofondo in ambito ferroviario. Tali sono gli strati di spessore pari a 2,00 m immediatamente sottostanti il piano di posa del ballast o del sub-ballast se presente.

10. – FORMAZIONE DEI RIEMPIMENTI

Con la generica denominazione di riempimenti si individuano diverse tipologie di lavorazioni che riguardano: sistemazioni di tratti di rilevato rimasti in sospeso, rinterro di cavi praticati nel corpo stradale per diversi scopi (come ad esempio la posa di sottoservizi), riempimenti a ridosso di opere di sostegno, ripristino di cavi di fondazioni intorno a strutture murarie.

Ognuna di queste lavorazioni dovrà essere effettuata utilizzando specifiche tipologie di aggregati abbinate ad adeguate tecniche e macchinari per la loro posa in opera.

Gli aggregati riciclati utilizzati per la formazione di riempimenti dovranno appartenere prevalentemente alle tipologie 7.1., 7.2., 7.11. e 7.17. del D.M. 05/02/98, n.72. Non sono ammessi materiali contenenti amianto e/o sostanze pericolose e nocive o con significativi contenuti di gesso. Pertanto, tali materiali debbono essere sottoposti ai test di cessione sul rifiuto come riportato nell'Allegato 3 del citato D.M. del 05/02/98, o a test equivalente di riconosciuta valenza europea (UNI 10802/2002).

Il contenuto totale di solfati e solfuri (Norma UNI EN 1744-1) deve essere ≤ 1 %. Se il materiale viene posto in opera a contatto con strutture in cemento armato, tale valore deve essere $\leq 0,5$ %.

10.1. – SISTEMAZIONE DI TRATTI DI RILEVATO RIMASTI IN SOSPESO

Nella formazione di tratti di rilevato rimasti in sospeso per la presenza di tombini, canali, cavi, ecc., si deve garantire la continuità con la parte già realizzata, impiegando materiali dello stesso tipo e modalità di posa in opera atte a garantire gradi di compattazione identici. Pertanto, in funzione della quota rispetto al piano di posa della sovrastruttura, i requisiti dei materiali impiegati e le caratteristiche prestazionali degli strati finiti dovranno rispettare quanto riportato ai precedenti § 4 per gli strati del corpo stradale e § 5 per gli strati di sottofondo.

A ridosso delle murature delle opere d'arte, qualora in relazione alle caratteristiche dei materiali ed anche in aggiunta alle previsioni progettuali se ne ravvisi la necessità, la Direzione Lavori ha facoltà di ordinare l'impiego di materiali stabilizzati a cemento. L'aggregato riciclato stabilizzato con cemento dovrà possedere le caratteristiche richieste per la formazione di strati di misto cementato (§ 7.2.) soggetti a traffico leggero (L).

La porzione di rilevato realizzata con aggregati riciclati stabilizzati con cemento deve interessare una zona la cui sezione, lungo l'asse stradale, sia a forma trapezia, avente la base inferiore di 2,00 m, quella superiore pari a $2,00\text{ m} + \frac{3}{2} \cdot h$ e l'altezza h coincidente con quella del rilevato.

La miscela deve essere compattata fino ad ottenere almeno il 95% della massa volumica massima del secco, determinata con la prova di addensamento AASHO Modificata (CNR B.U. n. 69/78), procedendo per strati di spessore non superiore a 30 cm.

Salvo maggiori e più restrittive verifiche motivate dalla Direzione Lavori, il controllo qualitativo dei materiali impiegati e degli strati realizzati per la sistemazione dei tratti di rilevato rimasti in sospeso deve essere effettuato almeno ogni 500 m^3 o frazione di materiale posto in opera.

10.2. – RINTERRO DI CAVI PRATICATI NEL CORPO STRADALE

Il rinterro di cavi praticati nel corpo stradale per diversi scopi (ad esempio per la posa di sottoservizi) presenta problemi specifici. In particolare la compattazione è frequentemente difficoltosa a causa della ristrettezza degli spazi e della delicatezza dei sottoservizi interessati. Questa circostanza tuttavia non deve giustificare la rinuncia al raggiungimento delle portanze prescritte per il tipo di strato considerato e per il livello di traffico attribuibile all'infrastruttura. Per questi motivi occorre che gli aggregati riciclati da impiegare siano particolarmente selezionati ed in

grado di rispondere efficacemente al costipamento per vibrazione.

Gli aggregati riciclati da impiegare per i riempimenti di cavi praticati sia nel corpo stradale fino alla quota del piano di posa delle sovrastrutture, sia nello strato di fondazione delle stesse, dovranno rispondere ai requisiti previsti per i materiali utilizzati per la formazione di strati di fondazione stradale di cui al § 6.2.

I piani finiti, compattati procedendo per strati di spessore modesto rapportato all'efficacia dei mezzi costipanti impiegabili e comunque non superiori a 25 cm, dovranno possedere i requisiti prestazionali richiesti ai corrispondenti strati (corpo del rilevato § 4.10., sottofondo § 5.10., fondazione § 6.6.) e per i rispettivi livelli di traffico.

La Direzione Lavori ha facoltà di ordinare l'impiego di misti cementati per l'effettuazione del rinterro di cavi praticati nel corpo stradale, sia per tutta l'altezza del cavo, sia limitatamente all'ultimo strato che costituisce il piano di posa degli strati in conglomerato bituminoso. In questo caso le caratteristiche dei materiali da impiegare ed i requisiti prestazionali degli strati finiti dovranno rispondere, per il corrispondente livello di traffico attribuibile alla strada, a quanto previsto nel § 7. relativo alla formazione di strati in misto cementato realizzati con aggregati riciclati.

Le miscele di aggregati riciclati trasportate sul cantiere mediante autocarri o mezzi simili, non dovranno essere scaricate direttamente a ridosso dei cavi o al loro interno, ma depositate in loro vicinanza e successivamente poste in opera a strati per essere compattati con mezzi adatti.

Salvo maggiori e più restrittive verifiche motivate dalla Direzione Lavori, il controllo qualitativo dei materiali impiegati e degli strati di riempimento di cavi deve essere effettuato almeno ogni 100 m³ o frazione di materiale posto in opera.

10.3. – RIEMPIMENTI A RIDOSSO DI OPERE DI SOSTEGNO

10.3.1 – RIEMPIMENTI SOGGETTI A CARICHI DA TRAFFICO VEICOLARE

Il riempimento a ridosso delle opere di sostegno e dei manufatti murari è spesso difficoltoso per l'impossibilità di poter operare il costipamento con mezzi ad elevata efficacia. Il riempimento non potrà comunque essere effettuato fino a quando i manufatti murari non abbiano raggiunto i prescritti valori di resistenza.

I mezzi da impiegare per la formazione del riempimento dovranno essere proposti dall'Impresa e approvati dalla Direzione Lavori anche in relazione all'importanza dell'opera ed allo specifico tipo di lavorazione da eseguire.

I materiali riciclati da impiegare dovranno essere particolarmente selezionati per garantire sufficienti livelli di stabilità oltre ai requisiti granulometrici e funzionali previsti dal Progetto. In ogni caso l'aggregato utilizzato dovrà essere costituito da elementi granulari con granulometria compresa tra 2 e 50 mm, passante al setaccio da 2 mm non superiore al 15% in massa e, comunque, un passante al setaccio 0.063 mm non superiore al 3%. Il coefficiente di abrasione Los Angeles, valutato secondo la Norma UNI EN 1097-2, dovrà essere inferiore a 35 (salvo diverse e più restrittive prescrizioni motivate dalla Direzione Lavori in relazione alla quota degli strati di riempimento rispetto al piano viabile), in modo da garantire che i prescritti requisiti granulometrici delle miscele permangano anche dopo la messa in opera e le azioni del traffico.

I materiali dovranno risultare del tutto esenti da componenti instabili (gelive, tenere, solubili, etc.) e da parti vegetali oltre a rispettare i requisiti previsti nella seguente **Tabella 10.1**. Ai fini del loro impiego l'Impresa è tenuta a predisporre, almeno ogni 100 m³ o frazione di materiale posto in opera, la qualificazione dello stesso tramite certificazione rilasciata da un Laboratorio specializzato.

Tabella 10.1
Requisiti di composizione dei materiali granulari riciclati per riempimenti
a ridosso di opere di sostegno soggetti a carichi da traffico veicolare

Componenti	Modalità di prova	Limiti
Contenuto di materiali litici di qualunque provenienza, pietrisco tolto d'opera, calcestruzzi, laterizi, refrattari, prodotti ceramici, malte idrauliche ed aeree, intonaci	UNI EN 13285 Appendice A	> 90% in massa
Contenuto di vetro e scorie vetrose	UNI EN 13285 Appendice A	< 5% in massa
Contenuto di conglomerati bituminosi	UNI EN 13285 Appendice A	< 5% in massa
Contenuto di altri rifiuti minerali dei quali sia ammesso il recupero in sottofondi e fondazioni stradali ai sensi della legislazione vigente	UNI EN 13285 Appendice A	• 5% in massa per ciascuna tipologia
Contenuto di materiali deperibili: carta, legno, fibre tessili, cellulosa, residui alimentari, sostanze organiche eccetto bitume; Materiali plastici cavi: corrugati, tubi o parti di bottiglie di materia plastica, ecc.	UNI EN 13285 Appendice A	• 0,1% in massa
Contenuto di altri materiali: metalli, guaine, gomme, lana di roccia o di vetro, gesso, ecc.	UNI EN 13285 Appendice A	• 0,4% in massa
Parametri	Modalità di prova	Limiti
Perdita per abrasione "Los Angeles"	UNI EN 1097-2	< 35%
Passante al setaccio 50 mm	UNI EN 933-1	100% in massa
Passante al setaccio 2 mm	UNI EN 933-1	• 15% in massa
Passante al setaccio 0,063 mm	UNI EN 933-1	• 3% in massa
Indice di plasticità	CNR UNI 10014	N.P.

Le miscele di aggregati riciclati trasportate sul cantiere mediante autocarri o mezzi simili, non dovranno essere scaricate direttamente a ridosso dei cavi o al loro interno, ma depositate in loro vicinanza e successivamente poste in opera a strati per essere compattati con mezzi adatti.

I piani finiti, compattati procedendo per strati di spessore modesto e rapportato all'efficacia dei mezzi impiegabili (e comunque non superiore a 25 cm), dovranno possedere i requisiti dei corrispondenti strati (corpo del rilevato § 4.10., sottofondo § 5.10., fondazione § 6.6.) e dei rispettivi livelli di traffico.

La Direzione Lavori ha facoltà di ordinare la stabilizzazione a cemento degli aggregati riciclati da utilizzare per la formazione del riempimento, sia per tutta l'altezza del cavo, sia limitatamente all'ultimo strato che costituisce il piano di posa della sovrastruttura. Il cemento utilizzato per la stabilizzazione sarà del tipo previsto al § 7.2. per la formazione di misti cementati, e dovrà essere aggiunto alla miscela di aggregati in ragione di $25 \div 50 \text{ kg/m}^3$ di materiale compattato; l'esatto quantitativo, entro i suddetti limiti, dovrà essere determinato sperimentalmente dall'Impresa e sottoposto all'approvazione della Direzione Lavori.

La miscela posta in opera dovrà presentare un grado di compattazione non inferiore al 95% della massa volumica massima del secco, determinata in laboratorio con la prova AASHTO Modificata (CNR B.U. n. 69/78).

Salvo maggiori e più restrittive verifiche motivate dalla Direzione Lavori, il controllo qualitativo degli strati di riempimento a ridosso delle opere di sostegno deve essere effettuato almeno ogni 100 m^3 o frazione di materiale posto in opera.

10.3.2 – RIEMPIMENTI NON SOGGETTI A CARICHI DA TRAFFICO VEICOLARE

Il riempimento a ridosso delle opere di sostegno e dei manufatti murari è spesso difficoltoso per l'impossibilità di poter operare il costipamento con mezzi ad elevata efficacia. Il riempimento non potrà comunque essere effettuato fino a quando i manufatti non abbiano raggiunto i prescritti valori di resistenza.

I mezzi da impiegare per la formazione del riempimento dovranno essere proposti dall'Impresa e approvati dalla Direzione Lavori anche in relazione all'importanza dell'opera ed allo specifico tipo di lavorazione da eseguire.

I materiali riciclati da impiegare dovranno essere particolarmente selezionati per garantire sufficienti livelli di stabilità oltre ai requisiti granulometrici e funzionali previsti dal Progetto. In ogni caso l'aggregato utilizzato dovrà essere costituito da elementi granulari con granulometria compresa tra 2 e 50 mm, passante al setaccio da 2 mm non superiore al 15% in massa e, comunque, un passante al setaccio 0.063 mm non superiore al 3%. Il coefficiente di abrasione Los Angeles, valutato secondo la Norma UNI EN 1097-2, dovrà essere inferiore a 40 (salvo diverse e più restrittive prescrizioni motivate dalla Direzione Lavori in relazione alla quota degli strati di riempimento rispetto al piano viabile), in modo da garantire che i prescritti requisiti granulometrici delle miscele permangano anche dopo la messa in opera.

I materiali dovranno risultare del tutto esenti da componenti instabili (gelive, tenere, solubili, etc.) e da parti vegetali oltre a rispettare i requisiti di composizione previsti alla **Tabella 10.2**. Ai fini del loro impiego l'Impresa è tenuta a predisporre, almeno ogni 500 m³ o frazione di materiale posto in opera, la qualificazione dello stesso tramite certificazione rilasciata da un Laboratorio specializzato.

Tabella 10.2

Requisiti di composizione dei materiali granulari riciclati per riempimenti a ridosso di opere di sostegno non soggetti a carichi da traffico veicolare

Componenti	Modalità di prova	Limiti
Contenuto di materiali litici di qualunque provenienza, pietrisco tolto d'opera, calcestruzzi, laterizi, refrattari, prodotti ceramici, malte idrauliche ed aeree, intonaci	UNI EN 13285 Appendice A	> 80% in massa
Contenuto di vetro e scorie vetrose	UNI EN 13285 Appendice A	< 10% in massa
Contenuto di conglomerati bituminosi	UNI EN 13285 Appendice A	< 15% in massa
Contenuto di altri rifiuti minerali dei quali sia ammesso il recupero in sottofondi e fondazioni stradali ai sensi della legislazione vigente	UNI EN 13285 Appendice A	< 15% in totale e < 5% per ciascuna tipologia
Contenuto di materiali deperibili: carta, legno, fibre tessili, cellulosa, residui alimentari, sostanze organiche eccetto bitume; Materiali plastici cavi: corrugati, tubi o parti di bottiglie di materia plastica, ecc.	UNI EN 13285 Appendice A	• 0,1% in massa
Contenuto di altri materiali: metalli, guaine, gomme, lana di roccia o di vetro, gesso, ecc.	UNI EN 13285 Appendice A	• 0,4% in massa
Parametri	Modalità di prova	Limiti
Perdita per abrasione "Los Angeles"	UNI EN 1097-2	< 40%
Passante al setaccio 50 mm	UNI EN 933-1	100% in massa
Passante al setaccio 2 mm	UNI EN 933-1	• 15% in massa
Passante al setaccio 0,063 mm	UNI EN 933-1	• 3% in massa
Indice di plasticità	CNR UNI 10014	• 6

Le miscele di aggregati riciclati trasportate sul cantiere mediante autocarri o mezzi simili, non dovranno essere scaricate direttamente a ridosso dei cavi o al loro interno, ma depositate in loro vicinanza e successivamente poste in opera a strati per essere compattati con mezzi adatti.

I piani finiti dovranno essere compattati procedendo per strati di spessore modesto e rapportato all'efficacia dei mezzi impiegabili (e comunque non superiori a 30 cm).

La miscela posta in opera dovrà presentare un grado di compattazione non inferiore al 90% della massa volumica massima del secco, ottenuta in laboratorio con energia AASHO Modificata (CNR B.U. n. 69/78).

Salvo maggiori e più restrittive verifiche motivate dalla Direzione Lavori, il controllo qualitativo degli strati di riempimento a ridosso delle opere di sostegno deve essere effettuato mediante analisi granulometriche da eseguirsi in ragione di almeno n. 1 prova ogni 500 m³ o frazione di materiale posto in opera.

10.4. - RIPRISTINO DI CAVI DI FONDAZIONI A RIDOSSO DI STRUTTURE MURARIE NON SOGGETTI A TRAFFICO VEICOLARE

Il riempimento cavi di fondazione a ridosso di strutture murarie può presentare difficoltà connesse all'impossibilità di poter operare il costipamento con mezzi adeguatamente efficaci. Il riempimento non potrà comunque essere effettuato fino a quando i manufatti non abbiano raggiunto i prescritti valori di resistenza ed i mezzi da impiegare per la formazione del riempimento dovranno essere proposti dall'Impresa e approvati dalla Direzione Lavori anche in relazione all'importanza dell'opera ed allo specifico tipo di lavorazione da eseguire.

I materiali riciclati da impiegare dovranno essere selezionati per garantire adeguati livelli di stabilità oltre ai requisiti granulometrici e funzionali previsti dal Progetto. In ogni caso l'aggregato utilizzato dovrà essere costituito da elementi granulari con granulometria compresa tra 2 e 50 mm, passante al setaccio da 2 mm non superiore al 15% in massa e, comunque, un passante al setaccio 0.063 mm non superiore al 3%.

I materiali dovranno risultare del tutto esenti da componenti instabili (gelive, tenere, solubili, etc.) e da parti vegetali oltre a rispettare i requisiti previsti nella seguente **Tabella 10.3**. Ai fini del loro impiego l'Impresa è tenuta a predisporre, per ogni lotto di materiale impiegato, la qualificazione dello stesso tramite certificazione rilasciata da un Laboratorio specializzato.

Tabella 10.3
Requisiti di composizione dei materiali granulari riciclati per riempimenti di cavi di fondazione a ridosso di strutture murarie non soggetti traffico veicolare

Componenti	Modalità di prova	Limiti
Contenuto di materiali litici di qualunque provenienza, pietrisco tolto d'opera, calcestruzzi, laterizi, refrattari, prodotti ceramici, malte idrauliche ed aeree, intonaci	UNI EN 13285 Appendice A	> 80% in massa
Contenuto di vetro e scorie vetrose	UNI EN 13285 Appendice A	< 10% in massa
Contenuto di conglomerati bituminosi	UNI EN 13285 Appendice A	< 15% in massa
Contenuto di altri rifiuti minerali dei quali sia ammesso il recupero in sottofondi e fondazioni stradali ai sensi della legislazione vigente	UNI EN 13285 Appendice A	< 15% in totale e < 5% per ciascuna tipologia
Contenuto di materiali deperibili: carta, legno, fibre tessili, cellulosa, residui alimentari, sostanze organiche eccetto bitume;	UNI EN 13285 Appendice A	• 0,1% in massa

Materiali plastici cavi: corrugati, tubi o parti di bottiglie di materia plastica, ecc.		
Contenuto di altri materiali: metalli, guaine, gomme, lana di roccia o di vetro, gesso, ecc.	UNI EN 13285 Appendice A	• 0,4% in massa
Parametri	Modalità di prova	Limiti
Perdita per abrasione "Los Angeles"	UNI EN 1097-2	< 40%
Passante al setaccio 50 mm	UNI EN 933-1	100% in massa
Passante al setaccio 2 mm	UNI EN 933-1	• 15% in massa
Passante al setaccio 0,063 mm	UNI EN 933-1	• 3% in massa
Indice di plasticità	CNR UNI 10014	• 6

Le miscele di aggregati riciclati trasportate sul cantiere mediante autocarri o mezzi simili, non dovranno essere scaricate direttamente a ridosso dei cavi o al loro interno, ma depositate in loro vicinanza e successivamente poste in opera a strati per essere compattati con mezzi adatti.

I piani finiti dovranno essere compattati procedendo per strati di spessore modesto e rapportato all'efficacia dei mezzi impiegabili (e comunque non superiori a 30 cm).

La miscela posta in opera dovrà presentare un grado di compattazione non inferiore al 90% della massa volumica massima del secco, determinata in laboratorio con la prova AASHO Modificata (CNR B.U. n. 69/78).

Salvo maggiori e più restrittive verifiche motivate dalla Direzione Lavori, il controllo qualitativo degli strati di riempimento di cavi di fondazione a ridosso di strutture murarie deve essere effettuato mediante analisi granulometriche da eseguirsi in ragione di almeno n. 1 prova ogni 500 m³ o frazione di materiale posto in opera.

11. – BONIFICHE DEI PIANI DI POSA

Come indicato nei precedenti capitoli, le bonifiche consistono in quelle opere destinate a realizzare un piano di posa dei rilevati o delle sovrastrutture, di adeguata capacità portante oltre che a minimizzare i cedimenti, sia assoluti, sia differenziali del corpo stradale, conseguenti alla compressibilità del terreno di sedime.

Quando la natura e lo stato dei terreni di impianto non consentono di raggiungere con il solo costipamento i valori di capacità portante previsti per la specifica categoria di opera, può essere introdotto nel programma dettagliato delle lavorazioni l'approfondimento degli scavi per la sostituzione di un opportuno spessore del materiale esistente con idonei materiali di apporto. L'opportunità di realizzare questo tipo di lavorazione sarà valutata sulla base di un'analisi geotecnica del problema che ne dimostri la necessità. Qualora si rendesse necessaria la realizzazione di tale strato è indispensabile definire, sempre mediante un'analisi geotecnica, le caratteristiche dimensionali dell'intervento (spessore ed estensione).

Le operazioni connesse alla realizzazione della bonifica consistono nella sostituzione, sino alla profondità prevista dal Progetto, del terreno naturale con opportuno materiale granulare sul cui piano di posa viene generalmente predisposto uno strato di geosintetico con funzioni di rinforzo, separazione e filtrazione, dotato di adeguate caratteristiche di resistenza e allungamento a rottura. Le caratteristiche geometriche di tali opere sono indicate negli elaborati di Progetto, ma resta inteso che l'Impresa dovrà sottoporre alla preventiva approvazione della Direzione Lavori un programma di dettaglio nel quale vengano indicate la natura e le proprietà fisico-meccaniche dei materiali che intende impiegare, le modalità esecutive e le sequenze cronologiche degli interventi. A tale scopo l'Impresa eseguirà o farà eseguire a sua cura e spese una sistematica campagna di indagini, a conforto di quelle eseguite in sede di Progetto, atte a verificare le caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni in sito previste nel Progetto stesso e dei materiali che intende impiegare.

Nella esecuzione degli scavi necessari per le opere di bonifica, l'Impresa dovrà procedere in modo che i bordi siano diligentemente profilati, restando essa totalmente responsabile di eventuali danni alle persone o alle opere, oltre che obbligata a provvedere a sua cura e spese alla rimozione delle materie eventualmente franate.

11.1. – BONIFICHE DEI PIANI DI POSA DEI RILEVATI STRADALI

11.1.1 - AGGREGATI

L'idoneità dei materiali riciclati da impiegare per la realizzazione di strati di bonifica dei piani di appoggio dei rilevati, situati a distanza superiore a 1,00 m dal piano di posa della pavimentazione, sarà valutata sulla base dei requisiti indicati al § 4 per i materiali da impiegare nella formazione dei rilevati.

11.1.2 - REQUISITI PRESTAZIONALI

Salvo diverse e più restrittive prescrizioni della Direzione Lavori i requisiti prestazionali sono quelli indicati al precedente § 4.5.3.

Tali caratteristiche devono essere accertate in condizioni di umidità rappresentative delle situazioni climatiche e idrogeologiche più sfavorevoli, di lungo termine, con la frequenza stabilita dalla Direzione Lavori in relazione all'importanza dell'opera, all'omogeneità del terreno di posa e, comunque, in misura non inferiore ad una prova ogni 5000 m² o frazione. Per i materiali a comportamento "instabile" (collassabili, espansivi, gelivi, etc.) la determinazione del modulo di deformazione deve essere effettuata in condizioni di saturazione del materiale interessato.

11.2. – BONIFICHE DEI SOTTOFONDI STRADALI

11.2.1 - AGGREGATI

Nei casi in cui la sede stradale sia in trincea o pressoché a piano di campagna e la natura e lo stato dei terreni naturali di impianto non consentono di raggiungere con il solo costipamento i valori di portanza richiesti per i sottofondi (§ 5.10.2), si rende necessario un intervento di bonifica consistente nella sostituzione di un opportuno spessore del terreno esistente con idonei materiali di apporto. L'idoneità dei materiali riciclati da impiegare per la realizzazione di questi strati di bonifica dovrà essere valutata sulla base dei seguenti requisiti:

- § nei casi in cui gli strati di bonifica si trovino a distanza superiore a 1,00 m dal piano di posa della sovrastruttura i materiali dovranno essere conformi a quanto previsto nel precedente § 4. relativo ai materiali da impiegare nella formazione del corpo dei rilevati;
- § nei casi in cui gli strati di bonifica si trovino a distanza inferiore a 1,00 m dal piano di posa della sovrastruttura i materiali dovranno essere conformi a quanto previsto nel § 5. relativo ai materiali da impiegare per la formazione degli strati di sottofondo.

11.2.2. - REQUISITI PRESTAZIONALI

Salvo diverse e più restrittive prescrizioni della Direzione Lavori i requisiti prestazionali sono quelli indicati al precedente § 5.10.2.

Tali caratteristiche devono essere accertate in condizioni di umidità rappresentative delle situazioni climatiche e idrogeologiche più sfavorevoli, di lungo termine, con la frequenza stabilita dalla Direzione Lavori in relazione all'importanza dell'opera, all'omogeneità del terreno di posa e, comunque, in misura non inferiore ad una prova ogni 3000 m² o frazione. Per i materiali a comportamento "instabile" (collassabili, espansivi, gelivi, etc.) la determinazione del modulo di deformazione deve essere effettuata in condizioni di saturazione del materiale interessato.

11.3. – BONIFICHE DEI PIANI DI POSA DEI RILEVATI FERROVIARI

11.3.1 – AGGREGATI

L'idoneità dei materiali riciclati da impiegare per la realizzazione di strati di bonifica dei piani di posa dei rilevati, comunque situati a profondità superiore a 2,00 m dal piano di posa dello strato di ballast o di sub-ballast se presente, dovrà essere valutata sulla base dei requisiti previsti nel § 8. per i materiali da impiegare per la formazione del corpo dei rilevati ferroviari.

11.3.2. - REQUISITI PRESTAZIONALI

Salvo diverse e più restrittive prescrizioni della Direzione Lavori i requisiti prestazionali sono quelli indicati al precedente § 8.9.2.

Le caratteristiche di portanza del piano di posa bonificato del rilevato devono essere accertate in condizioni di umidità rappresentative delle situazioni climatiche e idrogeologiche più sfavorevoli, di lungo termine, con la frequenza stabilita dalla Direzione Lavori in relazione all'importanza dell'opera, all'omogeneità del terreno di posa e, comunque, in misura non inferiore ad una prova ogni 2000 m² o frazione. Per i materiali a comportamento "instabile" (collassabili, espansivi, gelivi, etc.) la determinazione del modulo di deformazione viene effettuata in condizioni sature.