

**Alma Mater Studiorum  
Università degli Studi di Bologna**

---

---

**FACOLTÀ DI INGEGNERIA**  
Corso di Laurea in Ingegneria Civile

**DISTART**

Inserimento E Compatibilità Delle Infrastrutture  
Viarie Nel Territorio Ls

**CARATTERIZZAZIONE DI MISCELE C&D PER  
L'IMPIEGO IN SOTTOFONDI E FONDAZIONI  
STRADALI**

***Elaborato finale di:***  
Stefano Boldrini

***Relatore:***  
Prof. Ing. Cesare Sangiorgi

***Correlatore:***  
Dott. Ing. Claudio Lantieri

Dott. Ing. Matteo Pettinari

---

Anno Accademico 2012-2013

Sessione I



*Dedicato a:*

*Tarozzi Benedetta*

*Boldrini Vincenzo*

*Giovanardi Lidia*



# **PAROLE CHIAVE**

C&D

Miscele legate e non legate

Sottofondi e Fondazioni

Pre qualifica

Mix design

Campo prove



# INDICE

<b>INTRODUZIONE</b>	p.1
<b>CAPITOLO 1</b>	
<b>RIFIUTI INERTI DA COSTRUZIONE E DEMOLIZIONE</b>	p.3
1.1 I materiali da costruzione e demolizione.	p.3
1.2 Il trattamento dei rifiuti da C&D per la produzione di aggregati riciclati e l'importanza della demolizione selettiva	p.5
1.3 Campi di applicazione degli aggregati riciclati in ambito infrastrutturale	p.9
<b>CAPITOLO 2</b>	
<b>QUADRO NORMATIVO</b>	p.13
2.1 Introduzione	p.13
2.2 Decreto Legislativo 5 Febbraio 1997, n.22	p.13
2.3 Elenco rifiuti e Codici CER di interesse per il recupero in opere infrastrutturali	p.16
2.4 Decreto Ministeriale 5 Febbraio 1998 – “Individuazione dei rifiuti non pericolosi sottoposti alle procedure semplificate di recupero ai sensi degli articoli 31 e 33 del Decreto Legislativo 5 Febbraio 1997, n. 22”, con modifiche introdotte dal Decreto Ministeriale 5 Aprile 2006, n.186.	p.18
2.5 Incentivi al recupero e al riciclaggio	p.21
2.5.1 Legge 28 Dicembre 2001, n. 448 - "Disposizioni per la formazione del bilancio annuale e pluriennale dello Stato (Legge Finanziaria 2002)"	p.22
2.5.2 Decreto Ministeriale 8 Maggio 2003 n.203	p.23
2.5.3 Circolare n. 5205 del 15 Luglio 2005 -“Indicazioni per l’operatività nel settore edile, stradale e ambientale, ai sensi del Decreto Ministeriale 203/2003”	p.24

2.5.4	Circolare del 19 Luglio 2005 - “Indicazioni relative ai materiali riciclati e beni e manufatti ottenuti con materiale riciclato, proveniente da articoli in gomma, ai sensi del Decreto Ministeriale dell’ 8 Maggio 2003, n. 203”	p.33
2.5.5	Green Public Procurement (GPP) – Appalti Pubblici Verdi	p.35
2.6	Decreto Legislativo del 3 Aprile 2006, n.152 “Norme in materia ambientale” e Decreto Legislativo del 16 Gennaio 2008, n. 4 “Ulteriori disposizioni correttive ed integrative del Decreto Legislativo 3 Aprile 2006, n. 152, recante norme in materia ambientale”	p.37
2.7	Normative relative al Monitoraggio dei rifiuti	p.40
2.7.1	Decreto Ministeriale Ambiente del 17 Dicembre 2009 – “Istituzione del Sistema di Controllo della Tracciabilità dei Rifiuti – I SISTRI”, modificato dal Decreto Ministeriale del 15 Febbraio 2010 – “Modifiche ed integrazioni al Decreto Ministeriale del 17 Dicembre 2009”	p.40
2.8	Decreto Legislativo n. 205 del 10 Dicembre 2010 "Disposizioni di attuazione della Direttiva 2008/98/CE”	p.42
2.9	Marcatura CE - Riferimenti normativi	p.43
2.10	Decreto del Ministero dell’Ambiente n. 161 del 10 Agosto 2012	p.46

## CAPITOLO 3

	<b>CARATTERISTICHE COGENTI</b>	p.51
3.1	Introduzione	p.51
3.2	Autostrade per il Brennero s.p.a.	p.51
3.2.1	Aggregati lapidei	p.51
3.2.2	Fondazione stradale	p.52
3.2.2.1	Misto granulare non legato	p.53

3.2.2.2	Miscela di aggregati	p.54
3.2.2.3	Posa in opera	p.56
3.3	ANAS s.p.a.	p.57
3.3.1	Tipi di lavorazioni	p.57
3.3.2	Misto granulare stabilizzato per fondazione e/o sottofondazione	p.58
3.3.2.1	Descrizione	p.58
3.3.3	Caratteristiche dei materiali da impiegare	p.58
3.3.4	Studio preliminare	p.60
3.4	Concessioni Autostradali Venete	p.61
3.4.1	Descrizione materiali di impiego	p.61
3.4.2	Misto granulare non legato per fondazione	p.62
3.5	Capitolati inerenti miscele legate per sottofondi e fondazioni	p.65
3.5.1	Capitolato speciale d'appalto provincia di Trento	p.66
3.5.2	Capitolato speciale d'appalto regione Toscana	p.70
3.5.3	Capitolato speciale d'appalto ANAS	P.73
3.5.4	Capitolato speciale d'appalto Autostrade per il Brennero	p.77
3.6	Conclusioni in merito alle prestazioni richieste	p.81

## CAPITOLO 4

	<b>PREQUALIFICA CAMPIONI DI STUDIO</b>	p.83
4.1	Introduzione	p.83
4.2	Limiti di Atterberg	p.85
4.3	Analisi granulometrica per setacciatura	p.88
4.4	Analisi merceologica	p.93
4.5	Indice di forma (S.I.)	p.97
4.6	Indice di appiattimento (F.I.)	p.100
4.7	Massa volumica reale (M.V.R.)	p.102

4.8	Massa volumica apparente (M.V.A.)	p.106
4.9	Massa volumica in mucchio (M.V.M.)	p.108
4.10	Masse volumiche (M.V.)	p.111
4.11	Prova Los Angeles (L.A.)	p.111
4.12	Equivalente in sabbia (S.E.)	p.117
4.13	Specchietto riassuntivo materiali di partenza	p.120

## CAPITOLO 5

	<b>MISCELE NON LEGATE E PROVE DI LABORATORIO</b>	p.123
5.1	Introduzione	p.123
	5.1.1 Prova Proctor	p.124
	5.1.2 Prova di portanza CBR	p.129
5.2	Valutazione dei fusi granulometrici	p.134
5.3	Esiti della prova Proctor	p.138
5.4	Granulometria pre e post compattazione	p.140
5.5	Prova CBR pre saturazione	p.143
5.6	Prova CBR post saturazione	p.145
5.7	Specchietto riassuntivo miscele non legate	p.148

## CAPITOLO 6

	<b>MISCELE LEGATE E PROVE DI LABORATORIO</b>	p.149
6.1	Introduzione	p.149
	6.1.1 Prova di Compressione a espansione laterale libera CELL	p.150
	6.1.2 Prova di trazione indiretta T.I.	p.153
6.2	Valutazione dei fusi granulometrici delle miscele lagate	p.155
6.3	Prova CBR	p.158
6.4	Prova di compressione ad espansione laterale libera CELL	p.161

6.5	Prova di trazione indiretta	p.163
6.6	Specchietto riassuntivo miscele legate	p.166
<b>CAPITOLO 7</b>		
<b>CAMPO PROVE</b>		
		p.167
7.1	Introduzione	p.167
7.2	Preparazione e conformazione campo prove	p.167
7.3	Controlli in opera	p.175
	7.3.1 Qualifica dei terreni in sito	p.176
	7.3.2 Massa volumica apparente di una terra	p.177
<b>CONCLUSIONI</b>		
		p.185
<b>BIBLIOGRAFIA</b>		
		p.187
<b>RINGRAZIAMENTI</b>		
		p.191

# INTRODUZIONE

Con l'aumentare dello sviluppo economico, aumenta di pari passo la produzione di rifiuti.

Da ricerche effettuate da Eurostat si evince che la maggior parte dei rifiuti prodotti viene proprio dal settore minerario e delle costruzioni e demolizioni, ciò anche a causa della definizione che le norme forniscono per il concetto di rifiuto.

A prescindere da ciò il problema dello smaltimento dei rifiuti riveste importanza sempre maggiore e di pari passo aumenta d'importanza anche il problema dell'approvvigionamento di materie prime per i settori sopra citati.

Diviene quindi di fondamentale importanza, anche per poter recepire normative di carattere comunitario, limitare il più possibile la produzione di rifiuti e riqualificare tramite riciclo la maggior parte possibile di essi.

A tale scopo si stanno evolvendo le prescrizioni sia a livello normativo che a livello di capitolati riguardante l'impiego di tali materiali.

A tal proposito è parte di una più ampia ricerca sviluppata da parte del Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica Ambientale e dei Materiali (DICAM) dell'Alma Mater Studiorum di Bologna sovvenzionata da un ente privato (Consorzio Cave Bologna) con la finalità di riqualificare alcuni inerti di scarto e di individuare un mix design formato da materiali di recupero in grado di rispondere a determinate caratteristiche per il re-impiego nel campo delle costruzioni stradali come materiali per sottofondi e fondazioni.

La ricerca si articola in diverse fasi di seguito brevemente riportate.

**La prima fase** si è occupata della ricerca della normativa vigente in tale ambito, dell'individuazione delle prove di laboratorio per la qualifica di tali materiali e dell'individuazione di alcuni capitolati nazionali che prevedano l'utilizzo di materiali riciclati.

La **seconda fase** è stata la prequalifica dei materiali utilizzati nella sperimentazione. Tale attività è stata eseguita in laboratorio di strade, presso l'università di Bologna e ha permesso di effettuare la caratterizzazione fisica-chimica di 5 materiali derivanti da C&D.

**La terza fase** ha interessato da prima il mix design di 3 miscele non legate, e successivamente dall'individuazione di due miscele fra queste da legare. Su tali miscele è

stata effettuata, sempre in laboratorio, una caratterizzazione meccanica e una verifica della rispondenza ai requisiti minimi richiesti dai vari capitolati.

Per quanto riguarda la caratterizzazione meccanica si è tenuta una diversificazione fra miscele legate e non: con le prime si è valutato principalmente il coefficiente CBR considerando maggiormente il decadimento prestazionale dovuto all'assorbimento d'acqua; con le legate invece si ci è concentrati maggiormente sulle resistenze da tali miscele, tramite prove CBR, compressioni ad espansioni laterali libere e trazioni indirette.

Su tali miscele è poi stato effettuato sia uno studio sull'umidità ottima, come riferimento per la compattazione in sito, che uno studio sulla variazione delle curve granulometriche conseguenti la compattazione.

**La quarta fase** invece ha riguardato la realizzazione di un campo prove in cui testare i materiali le loro effettive caratteristiche di portanza e tenuta nel tempo.

Per quello che concerne la seguente trattazione si ci è limitati alla verifica della rispondenza del materiale steso alle granulometrie del mix design e alla verifica dell'umidità e della densità in sito.

# CAPITOLO 1

## RIFIUTI INERTI DA COSTRUZIONE E DEMOLIZIONE

### 1.1 I materiali da costruzione e demolizione.

I materiali provenienti dalle attività di Costruzione e Demolizione (indicati C&D, Construction and Demolition), anche detti aggregati da C&D, costituiscono una tipologia di rifiuti che comprende tutti gli scarti derivanti dal settore delle opere civili, quali:

- rifiuti provenienti dalla costruzione di edifici o infrastrutture civili;
- rifiuti provenienti dalla demolizione di edifici, opere civili, infrastrutture di trasporto;
- rifiuti provenienti da opere di manutenzione, ristrutturazione di opere civili, infrastrutture di trasporto;
- volumi di scarto provenienti dalla fabbricazione o prefabbricazione di elementi o componenti destinati al settore delle costruzioni (mattoni, piastrelle, pannelli, etc.)
- terreno e rocce provenienti da movimenti terra o scavi, per i quali si hanno differenti modalità di recupero rispetto ai normali rifiuti C&D sopracitati (come chiarito nei capitoli che seguono);

La diversificazione dei processi produttivi ha fatto sì che la composizione dei rifiuti da C&D sia particolarmente variabile; dal recupero dei materiali C&D è infatti possibile ottenere una varietà di materiali molto ampia.



**Figura 1.1:** Materiali da costruzione e demolizione.

In particolare poi i materiali sopra elencati possono essere suddivisibili in tre categorie generali:

- *la frazione riutilizzabile*, costituita da quegli elementi che, una volta comprovata la prestazione residua, tramite appositi trattamenti possono essere riportati alla loro funzione originale ( finestre, inferriate di balconi, travi, coppi in laterizio etc.);
- *la frazione riciclabile*, costituita dai rifiuti che inviati agli impianti di riciclaggio acquistano nuova destinazione d'uso in base alle caratteristiche ottenute;
- *la frazione inutilizzabile*, costituita dai componenti non idonei al riciclaggio da conferire in discarica o da elementi pericolosi da smaltire idoneamente.

È importante mettere in evidenza come, al fine di potere massimizzare i materiali recuperabili per il riciclaggio o per il riutilizzo, sia molto importante tenere presente la differenziazione di cui sopra, in particolare per i materiali provenienti da processi di demolizione, come verrà specificato successivamente quando si parlerà di “demolizione selettiva”.

In particolare i materiali recuperabili in ambito stradale, sono i seguenti:

1. Macerie, costituite da laterizi.
2. Calcestruzzi, costituiti da scarti di conglomerati cementizi anche armati provenienti dalla demolizione di opere di c.a., da scarti dell'industria di prefabbricazione di manufatti di cemento anche armato.
3. Frazione mista, costituita da mattoni, malta, cemento, pietre naturali, scarti ceramici, sfridi di lavorazioni edilizie, detriti inerti, residui di sovrastrutture

stradali o derivanti da scarifica stradale, conglomerati cementizi anche armati etc..

4. Materiali lapidei provenienti da scavi, i quali, come verrà specificato nei capitoli seguenti, sono soggetti a procedure di recupero differenti rispetto agli scarti di cui ai punti sopra.

È importante sottolineare che questi materiali prima di potere essere reimpiegati devono essere opportunamente caratterizzati e valutati conformi a precisi requisiti geometrici, fisici, chimici e di durabilità, oltre che ambientali, secondo le norme vigenti come verrà discusso nei capitoli successivi.

### **1.2 Il trattamento dei rifiuti da C&D per la produzione di aggregati riciclati e l'importanza della demolizione selettiva.**

I materiali C&D prima di potere essere utilizzati, devono essere sottoposti ad opportuni trattamenti per essere conformi con la normativa vigente. Esistono diverse tecnologie di trattamento dei rifiuti da C&D in grado di fornire aggregati riciclati con caratteristiche prestazionali equiparabili a quelle degli aggregati naturali. Tali tecnologie sono attualmente applicate sia in impianti fissi sia in impianti mobili, al fine di soddisfare esigenze diverse:

*1. Impianti fissi di trattamento e riciclaggio;* essi sono in grado di garantire un materiale in uscita omogeneo e controllato da un punto di vista granulometrico; Tale tipologia impiantistica è di norma caratterizzata da soluzioni standard per le fasi di frantumazione, vagliatura e deferrizzazione che consentono l'ottenimento di prodotti di qualità maggiore rispetto agli impianti mobili sia perché progettati per una determinata quantità e qualità di rifiuti di demolizione, sia per la possibilità di impiegare tecnologie più complete.

*2. Gruppi mobili di frantumazione;* i gruppi mobili, derivanti dai tradizionali impianti di frantumazione di inerti da cava ed economicamente convenienti in grossi cantieri di demolizione, consentono solitamente la semplice riduzione volumetrica dei singoli elementi immessi nell'impianto; è da verificare caso per caso, se con opportuni accorgimenti tecnologici, si possa garantire un adeguato assortimento granulometrico dei materiali in uscita al trattamento, e l'eliminazione delle frazioni indesiderate. Tale

tipologia impiantistica da la possibilità di abbattere eventuali costi di trasporto nel caso di riutilizzo in loco del materiale da destinare a frantumazione.



**Figura 1.2** Impianto fisso di trattamento (fonte: ANPAR 2008)



**Figura 1.3:** Esempio di impianto di trattamento mobile

Un impianto efficiente deve ad ogni modo essere in grado di suddividere il materiale in ingresso fondamentalmente in tre flussi: *il materiale lapideo nuovamente utilizzabile, la frazione leggera* (carta, plastica, legno, impurezze, etc.) *e la frazione metallica*. A prescindere dalla tecnologia applicata, in un impianto le principali fasi che caratterizzano il processo di trattamento di rifiuti C&D sono le seguenti:

- *Frantumazione*, finalizzata ad ottenere una riduzione delle dimensioni dei rifiuti per renderli adatti all'impiego finale;
- *Classificazione per vagliatura*, finalizzata a separare i grani in base alla loro dimensione per ottenere frazioni granulometriche omogenee;
- *Separazione*, finalizzata ad eliminare materiali indesiderati nel prodotto finale.

Bisogna però evidenziare che più i rifiuti sono suddivisi in frazioni omogenee, più il loro riciclo è semplificato e conveniente. Va considerato quindi che, in un'ottica di valorizzazione dei rifiuti, assume un ruolo centrale, oltre alla tecnologia adottata, anche il processo di demolizione effettuato. I rifiuti prodotti durante una demolizione tradizionale sono costituiti da una molteplicità di materiali tra i quali sono presenti anche frazioni indesiderate (ad es. carta, plastica e legno, gesso, etc.), che costituiscono un serio problema per la qualità dell'aggregato riciclato ottenuto dal trattamento degli stessi. Un rifiuto selezionato consente invece, da un lato di risparmiare sui costi di smaltimento o trattamento (essi aumentano notevolmente con l'eterogeneità e la presenza di sostanze inquinanti), dall'altro di garantire al materiale riciclato un adeguato livello di qualità. Per ottenere questo risultato l'attività di demolizione deve essere progettata ed organizzata. Una strategia di questo tipo, detta di *demolizione selettiva*, è oggi ancora poco praticata perché comporta costi elevati, dovuti al massiccio impiego di manodopera e ai tempi lunghi di esecuzione. Nella realtà accade ancora che nella scelta delle tecniche di demolizione da adottare si considerano come elementi prioritari l'aspetto economico e la velocità di esecuzione dell'operazione e non si tiene conto della necessità di ricollocare nel processo produttivo le diverse tipologie di rifiuti e componenti. I capitolati relativi ai lavori di demolizione raramente prevedono l'adozione di procedure selettive, anche se in molte Provincie, tra le quali Bologna, grazie agli "Accordi di Programma" di cui si parlerà in seguito, sono stati fatti parecchi passi avanti in questo senso, grazie alla diffusione di dettagliate informazioni riguardo i procedimenti per una corretta demolizione. *Si può quindi affermare che esiste una connessione molto forte tra la tecnologia utilizzata, i processi di demolizione adottati e la qualità degli aggregati riciclati.* Le migliori procedure di demolizione selettiva suggeriscono come metodo più efficace da seguire, quello basato sul separare e poi stoccare i materiali separatamente e per frazioni omogenee operando la demolizione in quattro fasi successive:

- *fase 1: materiali e componenti pericolosi*; per evitare di provocare inquinamenti e proteggere gli operatori del cantiere dal rischio di manipolare in modo improprio sostanze nocive, prima di tutto è indispensabile verificare se nell'edificio sono presenti materiali e componenti pericolosi (es: materiali contenenti amianto, interruttori

contenenti PCB ecc.). Una volta identificati e localizzati si procederà a bonificare l'edificio, rimuovendoli e quindi smaltendoli secondo le specifiche norme.

– *fase 2: componenti riusabili*; dopo la bonifica dagli eventuali materiali pericolosi, si passerà allo smontaggio di tutti quegli elementi che possono essere impiegati di nuovo (mattoni, tegole, travi, elementi in ferro e parapetti, serramenti etc.) tali e quali, oppure, dopo semplici trattamenti (pulitura, revisione del funzionamento, riparazione, verniciatura) che ne ripristino le caratteristiche originarie.

– *fase 3: materiali riciclabili*; successivamente si può continuare il lavoro demolendo e separando in parti omogenee le parti di edificio da avviare a riciclo.

– *fase 4: rifiuti non riciclabili*; tutto quello che resta dopo le selezioni è l'insieme di quei materiali che tecnicamente o economicamente (o per la eventuale presenza di elementi estranei o eterogenei) non è possibile valorizzare. Questi materiali devono quindi necessariamente essere avviati allo smaltimento. Lo schema in fig.4 mette in evidenza la differenza tra demolizione tradizionale e selettiva:

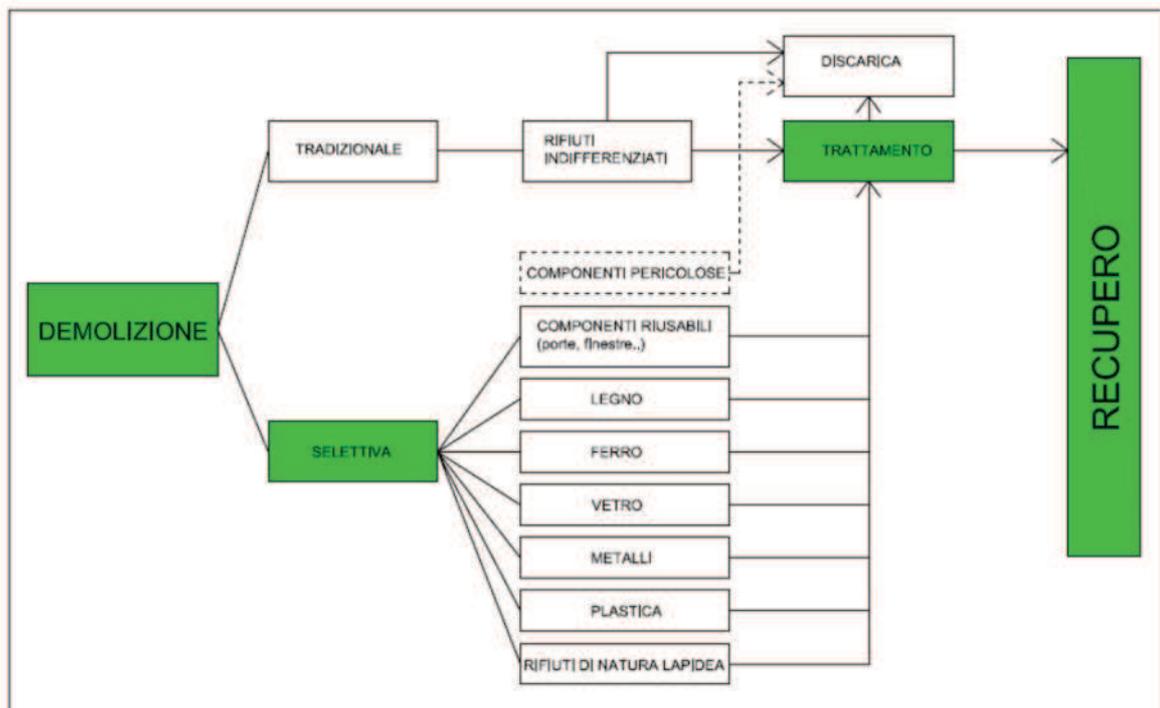


Figura 1.4: Demolizione tradizionale e selettiva.

Si ricorda che per quanto riguarda i rifiuti e le sostanze pericolose, la loro corretta rimozione è di fondamentale importanza per poter ottenere, dal processo di demolizione, materiali non contaminati che possano essere facilmente avviati al riciclo. I materiali ed i prodotti utilizzati in edilizia possono infatti emettere composti altamente pericolosi; nella tab.1 si riportano alcuni tra i più diffusi materiali pericolosi che si possono incontrare nei rifiuti C&D:

Prodotto/materiale	Componenti potenzialmente pericolosi	Proprietà potenzialmente pericolose
amianto	fibre	tossico/cancerogeno
tubazioni	piombo	tossico
vernici	piombo, cromo, solventi	infiammabile, tossico
impermeabilizzanti/incatramanti	solventi, bitumi	infiammabile, tossico
adesivi	solventi, bitumi	infiammabile, tossico, irritante
legno trattato	fibre respirabili	tossico ,infiammabile
resine/riempitivi	isocianati/ anidridi	tossico, irritante
fibre minerali	fibre respirabili	irritante

Tabella 1.1: Materiali C&D potenzialmente pericolosi.

### 1.3 Campi di applicazione degli aggregati riciclati in ambito infrastrutturale.

Per quanto riguarda gli aggregati riciclati la loro destinazione d'uso può essere molto variabile in funzione delle caratteristiche e delle prestazioni raggiunte dalle fasi di trattamento. In generale comunque i campi di applicazione degli aggregati sono i seguenti:

- *applicazioni non legate*, dove l'aggregato è utilizzato sciolto (misti granulari);
- *applicazioni legate*, dove la miscela contiene un agente legante, come il cemento, il bitume o una sostanza che ha proprietà leganti a contatto con l'acqua (misti stabilizzati bitumati o cementati, conglomerati bituminosi etc.).
- *stabilizzazioni in sito*.

I lavori stradali sono sicuramente un settore dove l'utilizzo degli aggregati riciclati può trovare larga applicazione, in sostituzione di quelli primari:

- nella realizzazione di sottofondi stradali, aeroportuali e di piazzali, civili e industriali;
- nella realizzazione di strati di fondazione;
- nella realizzazione di recuperi ambientali, riempimenti e colmate;
- nella realizzazione di strati accessori (aventi funzione anticapillare, antigelo, drenante, etc.);
- nel confezionamento di calcestruzzi (soprattutto per bassi classi di resistenza  $R_{ck} \leq 15$  MPa, secondo le indicazioni della norma UNI 8520-2).
- nella realizzazione di conglomerati bituminosi o per trattamenti superficiali per strade, aeroporti e altre aree soggette a traffico.

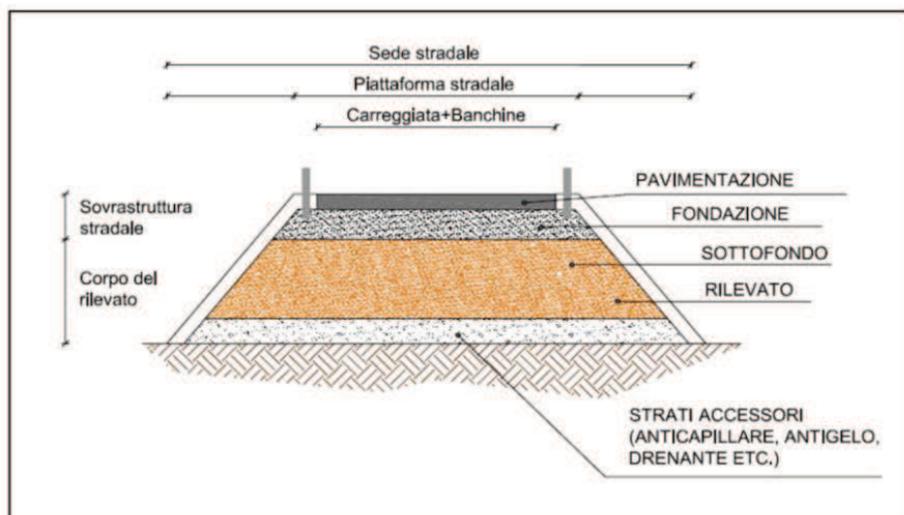


Figura 1.5: Possibili applicazioni degli aggregati riciclati.

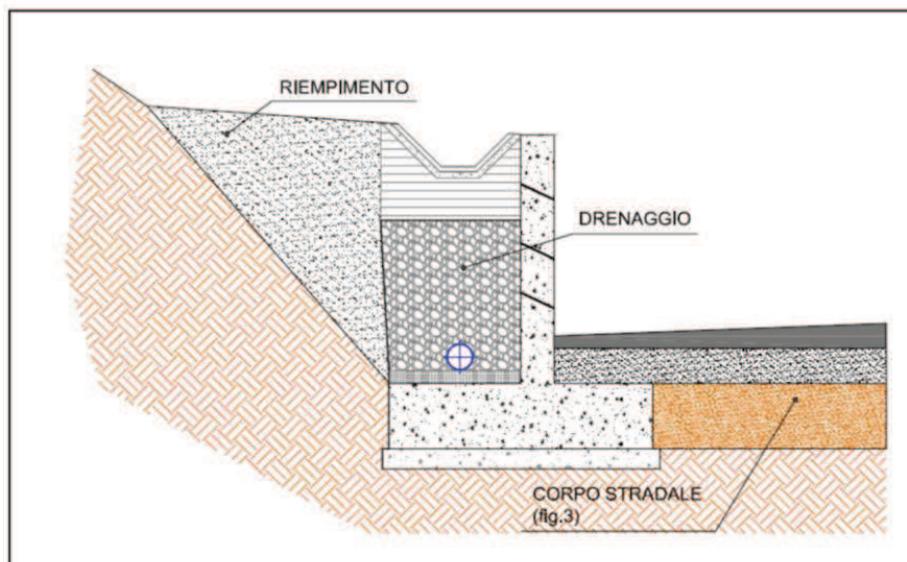


Figura 1.6: Possibili applicazioni degli aggregati riciclati.

I materiali lapidei naturali, che gli aggregati riciclati possono sostituire, maggiormente impiegati nei vari strati della sovrastruttura sono:

- pietrisco: elementi litoidi, ottenuti dalla frantumazione di pietrame o ciottoli, aventi spigoli vivi, di dimensioni comprese tra 25 e 71 mm (passante al crivello 71 e trattenuto al 25),
- pietrischetto: elementi litoidi sempre provenienti dalla frantumazione di pietrame o ciottoli, a spigoli vivi, come per il pietrisco, ma di dimensioni comprese fra 10 e 25 mm,
- graniglia: materiale litoide da frantumazione, a spigoli di vivi, di dimensioni comprese fra 2 e 10 mm,
- sabbia: materiale litoide, fine, proveniente dalla frantumazione di pietrame o ghiaie, di dimensioni massime di 2 mm.

<b>Prodotto</b>	<b>Granulometria(mm)</b>	<b>Classificazione</b>	<b>Origine</b>
Stabilizzato	0/20	Gruppo A1	Calcestruzzo
Stabilizzato	0/40	Gruppo A1	Calcestruzzo
Stabilizzato	0/80	Gruppo A1	Calcestruzzo
Tout Venant	0/100	Gruppo A1	Calcestruzzo Macerie Frazione mista
Pietrischetto	20/40	/	Calcestruzzo Macerie Frazione mista
Pietrischetto	40/70	/	Calcestruzzo Macerie Frazione mista
Sabbia	0/8	/	Calcestruzzo
Conglomerato cementizio	varia		Calcestruzzo

**Tabella 1.2:** Alcuni esempi di materiali riciclati in uscita dagli impianti di trattamento dei materiali C&D.

Per la composizione degli strati, si possono miscelare insieme terreni e aggregati aventi differenti caratteristiche granulometriche. Gli aggregati riciclati, così come gli aggregati naturali, non possiedono tutti le medesime caratteristiche, pertanto, in funzione delle

loro specifiche prestazioni, sono più o meno adatti ad un determinato impiego. Nel capitolo III verranno trattate le caratteristiche di conformità che devono avere gli aggregati riciclati per potere essere utilizzati, e verranno fornite indicazioni in base alla loro destinazione d'uso; è infatti di fondamentale importanza conoscerne le proprietà ed il comportamento nei confronti di diversi fattori (quali, ad esempio, le sollecitazioni meccaniche, l'esposizione ai cicli di gelo e disgelo o all'acqua, etc.); *conoscere invece la loro origine non assume nessuna importanza grazie all'introduzione della marcatura CE per gli aggregati, naturali, artificiali o riciclati, la quale ha, come si vedrà nei capitoli seguenti, ufficialmente sancito il superamento della tradizionale distinzione degli aggregati in funzione della loro natura, imponendo di valutare il materiale solo per le caratteristiche prestazionali dello stesso.*

## CAPITOLO 2

# QUADRO NORMATIVO

### 2.1 Introduzione.

I procedimenti e i processi delle fasi di recupero e riciclaggio finalizzati all'ottenimento di nuove materie prime secondarie, così come la determinazione delle qualità e delle prestazioni ad esse connesse (che devono essere comprovate attraverso specifiche prove che ne garantiscano l'idoneità per i diversi impieghi), sono soggetti a un articolato e piuttosto ampio regime normativo, inoltre non totalmente esaustivo.

Nei capitoli che seguono si cercherà quindi di generare un quadro completo e aggiornato che contenga i riferimenti normativi, le informazioni e le definizioni del settore ad oggi disponibili; si metteranno in particolare in luce tutti i provvedimenti presi dal Decreto Ronchi fino alle più recenti disposizioni, interessanti le modalità di recupero, marcatura e utilizzo dei materiali C&D, sottolineando inoltre le lacune in materia che ancora oggi sono in attesa di risoluzione.

### 2.2 Decreto Legislativo 5 Febbraio 1997, n.22 .

Il principale strumento legislativo del settore è il decreto del 5 febbraio 1997, n. 22 anche noto come Decreto Ronchi sul quale si basano tutte le attività legislative successive. Con tale Decreto la normativa Italiana per la gestione dei rifiuti è stata completamente riformata e adeguata alle Direttive Europee volte all'organizzazione del sistema di gestione dei rifiuti. In particolare in linea con la Direttiva 75/442/CEE del 15 Luglio 1975 (Direttiva Quadro sui rifiuti), modificata dai seguenti provvedimenti:

- Direttiva 91/156/CEE;
- Direttiva 91/689/CEE sui rifiuti pericolosi modificata dalla Direttiva 94/31/CE;
- Direttiva 94/62/CEE sui rifiuti da imballaggio,

le finalità principali di tale decreto sono:

- assicurare la protezione dell'ambiente con controlli efficaci, tenendo conto dei rifiuti pericolosi in modo tale che essi vengano recuperati o smaltiti *senza pericolo per la salute dell'uomo e dell'ambiente;*

- responsabilizzare i soggetti coinvolti nella produzione, nella distribuzione e nell'utilizzo di beni da cui si originano i rifiuti, *incentivando alle attività di recupero e riciclaggio.*

Tra i provvedimenti che mirano al conseguimento di tali finalità, il Decreto prevede la possibilità che fra autorità competenti quali Stato, Regioni, Province, Enti locali ed operatori economici vengano stipulati accordi di collaborazione su base volontaria, detti *Accordi di Programma*, che favoriscano il recupero e il riciclo; essi danno concreta attuazione ai principi sopra elencati, consentendo di adeguare l'applicazione delle norme alle specifiche situazioni e condizioni produttive locali e di trovare le soluzioni più efficaci per superare le difficoltà interpretative e operative che possono ostacolare le aziende nel destinare i rifiuti al recupero. Per incentivare le operazioni di recupero l'articolo 5 tratta la questione dello *smaltimento dei rifiuti* specificando che esso deve costituire la *fase residuale* della gestione dei rifiuti; *dal 1° Gennaio 2000 è infatti consentito smaltire in discarica solo i rifiuti inerti, i rifiuti individuati da specifiche norme tecniche ed i rifiuti che residuano dalle operazioni di riciclaggi e di recupero*, in modo da minimizzare i rifiuti da avviare in discarica. Lo smaltimento deve essere attuato con il ricorso ad una rete adeguata di impianti, i quali devono essere autorizzati secondo le disposizioni al capitolo 4 di tale Decreto. I rifiuti sono classificati all'art.7 in *rifiuti urbani* e *rifiuti speciali* e, secondo le caratteristiche di pericolosità, in *rifiuti pericolosi* e *rifiuti non pericolosi*. I rifiuti derivanti dalle attività di demolizione e costruzione di interesse per il recupero da destinare nelle costruzioni infrastrutturali, sono classificati come speciali. *Sono esclusi dalla classificazione di rifiuti, in base all'art.8 i rifiuti risultanti dall'estrazione, dal trattamento, dall'ammasso di risorse minerali o dallo sfruttamento delle cave, così come le terre e le rocce da scavo destinate all' utilizzo per rinterri, riempimenti, rilevati e macinati, nonché i rifiuti pericolosi che derivano dalle attività di scavo e i materiali provenienti da siti inquinati.* Per *terre e rocce da scavo* si intende il materiale che si origina dallo scavo di terreni vergini, dove sono assenti rifiuti o materiali di origine antropica; in realtà ad oggi esse possono comprendere anche i materiali di origine antropica, secondo quanto specificato al Decreto 161/2012; è importante sottolineare la grande potenzialità di riutilizzo di tali materiali, al pari dei rifiuti, nella realizzazione del corpo stradale, le cui modalità di recupero e trattamento verranno per questo chiarite maggiormente al punto 2.10. Con il Decreto Ronchi viene inoltre riorganizzato il sistema del *Catasto dei rifiuti* (art.11) con

l'obiettivo di ottenere un quadro conoscitivo aggiornato sulla gestione dei rifiuti. *Chi effettua attività di raccolta e trasporto di rifiuti è tenuto a comunicare annualmente le quantità e le caratteristiche qualitative dei rifiuti prodotti*, con l'obbligo di tenere un Registro di carico e scarico (art.12) su cui annotare le informazioni sulle caratteristiche dei rifiuti. Il registro deve contenere l'origine, la quantità, le caratteristiche e la destinazione specifica dei rifiuti; la data del carico e dello scarico dei rifiuti ed il mezzo di trasporto utilizzato. I registri devono essere tenuti presso ogni impianto di produzione, di stoccaggio, di recupero e di smaltimento di rifiuti nonché presso la sede delle imprese che effettuano attività di raccolta e trasporto (art.15), e presso la sede dei commercianti e degli intermediari. Oggi in seguito all' *Istituzione del sistema di controllo della tracciabilità dei rifiuti* (I Sistri) riportato al punto 2.7.1, i registri sono stati superati e sostituiti da dispositivi elettronici. Un altro punto introdotto al fine di favorire la raccolta differenziata dei rifiuti per una loro più corretta destinazione, è l'introduzione della possibilità di eleggere dei *depositi temporanei* dei rifiuti C&D non pericolosi, dove viene effettuato il raggruppamento prima della raccolta, nel luogo in cui gli stessi sono prodotti, alle condizioni e per periodi di tempo specificati nel seguente decreto. Il termine di durata del deposito temporaneo è comunque di un anno se il quantitativo di rifiuti in deposito non supera i 20 metri cubi nell'anno. In base al Decreto, inoltre, il recupero e il riciclaggio non necessariamente devono essere effettuati in impianti esterni al luogo di produzione dei rifiuti ma possono essere realizzati anche all'interno dei cantieri stessi; gli art. 31-32-33 definiscono infatti la possibilità per i rifiuti non pericolosi di essere ammessi a *procedure semplificate di autosmaltimento e recupero*, consentendo quindi lo svolgimento di tali attività ai produttori negli stessi luoghi di produzione, mantenendo comunque misure di protezione ambientale. I tipi, le quantità di rifiuti, e le condizioni in base alle quali le attività di smaltimento o recupero di rifiuti non pericolosi possono seguire tali semplificazioni sono specificati nel dettaglio dal Decreto Ministeriale del 5 Febbraio 1998, trattato a punto 2.4. Sono inoltre elencate le competenze di Stato, Province e Comuni in materia di rifiuti e al capitolo IV sono elencate le procedure di iscrizione all'Albo dei rifiuti per potere esercitare operazioni di recupero. All'Allegato A è riportato il Catalogo Europeo dei rifiuti, ovvero l'elenco dei rifiuti a cui si applicano le disposizioni del Decreto stesso, che rappresenta una nomenclatura di riferimento comune a tutta la Comunità Europea definita allo scopo di migliorare tutte le attività

connesse alla gestione dei rifiuti; nel catalogo sono riportati con il codice CER 17 i rifiuti da costruzione e demolizione, come meglio specificato al punto 2.3.

### **2.3 Elenco rifiuti e Codici CER di interesse per il recupero in opere infrastrutturali:**

Il Decreto Ronchi riporta nell'Allegato A l'elenco dei rifiuti in linea con il *Catalogo Europeo dei Rifiuti CER* della direttiva 75/442/CEE; in particolare tra tutte le tipologie di rifiuti in esso contenute, oggetto di interesse per il recupero per la realizzazione di opere infrastrutturali sono i materiali ottenuti dalle attività C&D. Ogni tipologia di rifiuto è caratterizzata da un codice, standardizzato a livello Europeo, che deve essere dichiarato dal produttore e verificato dal "recuperatore". Il Codice Europeo dei Rifiuti (CER) è composto da sei cifre il quale li distingue:

1. per categoria o attività che genera il rifiuto (prima coppia di numeri);
2. per processo produttivo che ne ha causato la produzione (seconda coppia di numeri);
3. per le caratteristiche specifiche del rifiuto stesso (ultima coppia di numeri).

Per la corretta attribuzione del codice CER, pertanto, i rifiuti devono essere preventivamente caratterizzati, in base alla provenienza, al ciclo di lavorazione/trattamento ed al contenuto di sostanze pericolose. Essendo un elenco non esaustivo è oggetto di periodica revisione. Esso è infatti stato modificato dalla Decisione 2000/532/CE e dalle modifiche 2001/118/CE, 2001/119/CE e 2001/573/CE. Si evidenzia che i rifiuti classificati pericolosi sono contrassegnati con un asterisco all'interno del catalogo dei CER. I rifiuti recuperabili per le applicazioni infrastrutturali appartengono prevalentemente alla macrocategoria CER 17 riportata in tabella 2.1:

<b>17 01 Cemento, mattoni, mattonelle e ceramiche</b>
<b>17 01 01 cemento</b>
<b>17 01 02 mattoni</b>
<b>17 01 03 mattonelle e ceramiche</b>
17 01 06* miscugli o scorie di cemento, mattoni, mattonelle e ceramiche, contenenti sostanze pericolose
<b>17 01 07 miscugli o scorie di cemento, mattoni, mattonelle e ceramiche, diverse da quelle di cui alla voce 17 01 06</b>
17 02 Legno, vetro e plastica
17 02 01 legno

17 02 02 vetro
17 02 03 plastica
17 02 04* vetro, plastica e legno contenenti sostanze pericolose o da esse contaminati
<b>17 03 Miscele bituminose, catrame di carbone e prodotti contenenti catrame</b>
17 03 01* miscele bituminose contenenti catrame di carbone
<b>17 03 02 miscele bituminose diverse da quelle di cui alla voce 17 03 01</b>
17 03 03* catrame di carbone e prodotti contenenti catrame
17 04 Metalli (incluse le loro leghe)
17 04 01 rame, bronzo, ottone
17 04 02 alluminio
17 04 03 piombo
17 04 04 zinco
17 04 05 ferro e acciaio
17 04 06 stagno
17 04 07 metalli misti
17 04 09* rifiuti metallici contaminati da sostanze pericolose.
17 04 10* cavi, impregnati di olio, di catrame di carbone o di altre sostanze pericolose
17 04 11 cavi, diversi da quelli di cui alla voce 17 04 10
17 05 Terra (compreso il terreno proveniente da siti contaminati), rocce e fanghi di dragaggio
17 05 03* terra e rocce, contenenti sostanze pericolose
<b>17 05 04 terra e rocce, diverse da quelle di cui alla voce 17 05 03</b>
17 05 05* fanghi di dragaggio, contenente sostanze pericolose
<b>17 05 06 fanghi di dragaggio, diversa da quella di cui alla voce 17 05 05</b>
17 05 07* pietrisco per massicciate ferroviarie, contenente sostanze pericolose
<b>17 05 08 pietrisco per massicciate ferroviarie, diverso da quello di cui alla voce 17 05 07</b>
17 06 Materiali isolanti e materiali da costruzione contenenti amianto
17 06 01* materiali isolanti contenenti amianto
17 06 03* altri materiali isolanti contenenti o costituiti da sostanze pericolose
17 06 04 materiali isolanti diversi da quelli di cui alle voci 17 06 01 e 17 06 03
17 06 05* materiali da costruzione contenenti amianto (<M^>1)
17 08 Materiali da costruzione a base di gesso
17 08 01* materiali da costruzione a base di gesso contaminati da sostanze pericolose
17 08 02 materiali da costruzione a base di gesso diversi da quelli di cui alla voce 17 08 01
17 09 Altri rifiuti dell'attività di costruzione e demolizione
17 09 01* rifiuti dell'attività di costruzione e demolizione, contenenti mercurio
17 09 02* rifiuti dell'attività di costruzione e demolizione, contenenti PCB (ad esempio sigillanti contenenti PCB, pavimentazioni a base di resina contenenti PCB, elementi stagni in vetro contenenti PCB, condensatori contenenti PCB)
17 09 03* altri rifiuti dell'attività di costruzione e demolizione (compresi rifiuti misti) contenenti sostanze pericolose
17 09 04 rifiuti misti dell'attività di costruzione e demolizione, diversi da quelli di cui alle voci 17 09 01, 17 09 02 e 17 09 03

Tab.3 – Elenco rifiuti CER 17 .

Anche da una rapida analisi dell'Elenco, è possibile comprendere le grandi potenzialità offerte da numerosi tra questi materiali per il recupero in opere infrastrutturali varie; tra i codici riportati sono di interesse i seguenti: [17 01] [17 01 01] [17 01 02] [17 01 03]

[17 01 07] [17 03] [17 03 02] [17 09 04] [17 05 04]; di questi poi possono essere idonei al reimpiego dopo opportuno trattamento, solamente quelli che riescono a raggiungere adeguate caratteristiche prestazionali e che non provocano impatti negativi all'ambiente circostante (possibili rilasci di sostanze inquinanti) come specificato nei punti che seguono.

***2.4 Decreto Ministeriale 5 Febbraio 1998 – “Individuazione dei rifiuti non pericolosi sottoposti alle procedure semplificate di recupero ai sensi degli articoli 31 e 33 del Decreto Legislativo 5 Febbraio 1997, n. 22”, con modifiche introdotte dal Decreto Ministeriale 5 Aprile 2006, n.186.***

Tale Decreto, sulla base degli articoli 31 e 33 del Decreto Ronchi volti ad agevolare le imprese nel destinare i rifiuti al recupero, individua nel dettaglio le caratteristiche e le quantità di rifiuti non pericolosi sottoponibili alle procedure semplificate che consentono di avviare le attività di gestione dei rifiuti attraverso procedimenti burocratici più rapidi rispetto alle normali operazioni di conferimento ad impianti esterni. Le procedure semplificate comprendono:

- Processi di Autosmaltimento, cioè lo smaltimento di rifiuti non pericolosi effettuati nel luogo di produzione dei rifiuti stessi;
- Recupero dei rifiuti nello stesso luogo di produzione.

A differenza delle procedure ordinarie le procedure semplificate hanno un iter più veloce sia in termini di durata del procedimento autorizzativo, sia in termini di documentazione da presentare, favorendo quindi le attività di recupero; le attività di recupero possono quindi essere effettuate all'interno degli stessi cantieri; *la possibilità di effettuare il riciclaggio del materiale direttamente in sito, può diminuire o addirittura eliminare i costi di trasporto e l'acquisto di nuovo materiale.* Le imprese interessate, per potere recuperare i rifiuti nei propri processi produttivi, destinandoli (dopo averne valutato la compatibilità ambientale) al riciclo o al riutilizzo, potranno accedere alla procedura semplificata mediante comunicazione di inizio attività per l'esercizio delle operazioni di recupero dei rifiuti non pericolosi, ai sensi dell'art. 30 e 33 del D.Lgs. 22/97. Per quanto riguarda la *Messa in Riserva* dei materiali destinati al recupero semplificato (regolata all'art.6), è specificato che essa deve avvenire in modo che i rifiuti siano stoccati separatamente in cumuli realizzati su basamenti pavimentati o impermeabili e che i rifiuti polverulenti, siano protetti dall'azione del vento; essi

devono inoltre disporre di idonei sistemi di drenaggio delle acque meteoriche in modo da evitare il degrado dei materiali oltre ad essere opportunamente recintati; tali depositi non possono essere realizzati per un periodo superiore ad un anno. Questi accorgimenti consentono sicuramente di massimizzare la qualità dei materiali riciclati. Il Decreto Ministeriale del 5 Aprile 2006, n.186 sostituisce l'articolo 6 aggiungendo la restrizione che le operazioni di Messa in Riserva presso l'impianto di produzione del rifiuto non possono eccedere la quantità di rifiuti prodotti in un anno e prosegue indicando che "i rifiuti devono essere avviati ad operazioni di recupero entro un anno dalla data di produzione". Queste previsioni mirano ad evitare che vengano stoccati rifiuti in quantità eccessive, e al contempo che gli stessi rifiuti vengano recuperati in tempi rapidi. Tra l'altro, giova ricordare a tal proposito, che il D.Lgs. n. 36/2003 (Attuazione della Direttiva 1999/31/CE – Discariche rifiuti), al comma 1, lett. g) dell'art. 2 definisce "discarica" anche "qualsiasi area ove i rifiuti sono sottoposti a deposito temporaneo per più di un anno". Pertanto, appare ovvio che, consentire tempi e quantità superiori per la Messa in Riserva di un rifiuto in regime di procedura semplificata, comporterebbe il rischio di creazione di una discarica. La messa in riserva è specificata nel dettaglio all'Allegato 4 del Decreto Ministeriale 5/04/06 n. 186, mentre all'Allegato 5 sono indicate le dotazioni minime e le regole per gli impianti che la effettuano; in ogni caso i rifiuti non devono eccedere la capacità di stoccaggio autorizzata ai sensi dell'articolo 31, comma 6 del D.Lgs del 5 Febbraio 1997, n. 22. Indispensabili per potere realizzare le operazioni di recupero sono l'art.8 e l'art.9 che trattano i metodi di campionamento ed analisi dei rifiuti; all'articolo 8 è evidenziato che il *campionamento* dei rifiuti ai fini della loro caratterizzazione chimico - fisica deve essere effettuato in modo da ottenere un campione rappresentativo. Il Decreto Ministeriale del 5 Aprile 2006 n. 186 aggiunge che il campionamento va effettuato secondo le norme UNI 10802, "Rifiuti liquidi, granulari, pastosi e fanghi - Campionamento manuale e preparazione ed analisi degli eluati". Il campionamento e le analisi su detti campioni devono essere effettuate a cura del titolare dell'impianto dove i rifiuti sono prodotti almeno in occasione del primo conferimento all'impianto di recupero e, successivamente, ogni 24 mesi o ogni volta che intervengano modifiche sostanziali nel processo di produzione. *Il titolare dell'impianto di recupero è comunque tenuto a verificare la conformità del rifiuto conferitogli prima di procedere con le operazioni di trattamento.* Troppo spesso i rifiuti vengono depositati o vengono

riutilizzati senza prima verificare se essi possano cedere sostanze tossiche all'ambiente; visti i sofisticati processi di produzione in uso, i materiali C&D possono contenere una vasta gamma di sostanze, tra cui componenti potenzialmente a rischio per l'ambiente. Il recupero dei rifiuti deve quindi essere sempre subordinato al test di cessione; l'art.9 definisce che i *test di cessione* devono essere eseguiti su un campione avente le caratteristiche finali d'uso. Il test di cessione consiste in una simulazione di dilavamento operata dagli agenti atmosferici sul rifiuto. Con questo procedimento si dimostra su dati analitici se vi siano tracce rilevanti di inquinanti o meno e quindi si stabilisce se tali rifiuti possano essere riutilizzati. Il test, così come descritto all'Allegato 3 del Decreto Ministeriale del 5 Febbraio 1998, prescrive di valutare la compatibilità ambientale del materiale di prova mediante l'analisi dell'eluizione dei singoli componenti ottenuta mediante immersione del campione solido in acqua deionizzata, rinnovata ad intervalli di tempo prestabiliti, *per un totale di durata della prova di 16 giorni*. La concentrazione da confrontare con il limite imposto per ciascuna componente era calcolata come somma delle concentrazioni trovate in corrispondenza di tutte le varie fasi di eluizione. La procedura di prova e la verifica di ecocompatibilità sono state oggetto di diverse critiche in quanto:

- risulta difficile rispettare i limiti imposti dall'Allegato 3;
- la procedura di prova risulta piuttosto lunga e laboriosa;

Essa, inoltre, non dovrebbe prevedere il semplice rispetto di valori limite stabiliti a priori ma piuttosto verificare che i materiali analizzati non presentino caratteristiche di pericolosità superiori a quelle di analoghe materie prime vergini. Questo sarebbe un modo per confrontare realmente il materiale originato dai rifiuti con una terra naturale. Il Decreto Ministeriale del 5 Aprile 2006 n.186 ha in parte accolto dette critiche, sostituendo il test di cessione "a 16 giorni" su campioni ottenuti, come detto, in base alla UNI 10802 e secondo la metodica prevista dalla UNI EN 12457-2 "*Caratterizzazione dei rifiuti – Lisciviazione - Prova di conformità per la lisciviazione di rifiuti granulari e di fanghi*"; quest'ultima norma fornisce informazioni sulla lisciviazione di rifiuti granulari e fanghi nelle condizioni di prova specificate, ed in particolare con un rapporto liquido/solido di 10 l/kg di sostanza secca. Le prove devono essere effettuate su materiale con granulometria di almeno il 95% (massa) minore di 4 mm. Se il materiale di dimensioni eccessive è maggiore del 5% (massa), l'intera

frazione di dimensioni eccessive deve essere macinata con un'apparecchiatura di macinazione; a differenza di quanto era stabilito dal Decreto Ministeriale del 5 Febbraio 1998 la UNI EN12457-2 riduce i tempi di lisciviazione a circa 24 ore.

All'Allegato 3 del Decreto Ministeriale del 5 Aprile 2006 n.186 sono riportate le informazioni riguardanti il principio del metodo, il materiale da sottoporre ad analisi, i reagenti, le attrezzature e la strumentazione utilizzata e in particolare i valori delle concentrazioni limite accettabili per le varie sostanze contenute nei rifiuti da recuperare come riportato nella tab.4.

Parametri limite	Unità di misura	Concentrazioni
Nitrati	Mg/l NO <sub>3</sub>	50
Fluoruri	Mg/l F	1,5
Solfati	Mg/l SO <sub>4</sub>	250
Cloruri	Mg/l Cl	100
Cianuri	microgrammi/l Cn	50
Bario	Mg/l Ba	1
Rame	Mg/l Cu	0,05
Zinco	Mg/l Zn	3
Berillio	microgrammi/l Be	10
Cobalto	microgrammi/l Co	250
Nichel	microgrammi/l Ni	10
Vanadio	microgrammi/l V	250
Arsenico	microgrammi/l As	50
Cadmio	microgrammi/l Cd	5
Cromo totale	microgrammi/l Cr	50
Piombo	microgrammi/l Pb	50
Selenio	microgrammi/l Se	10
Mercurio	microgrammi/l Hg	1
Amianto	Mg/l	30
COD	Mg/l	30
PH		5,5 <> 12,0

Tab.4 – Concentrazioni limite per le sostanze contenute nei materiali da recuperare.

È bene sottolineare come i limiti riportati in tab.4 siano fortemente vincolanti e difficili da rispettare; questo rappresenta uno degli ostacoli che ha limitato spesso le imprese nel destinare i propri rifiuti C&D a recupero.

## 2.5 Incentivi al recupero e al riciclaggio.

Il settore legato alle attività di recupero e riciclaggio dei rifiuti C&D ha ancora molta strada da fare, soprattutto se si confronta la situazione Italiana con quella di altri Paesi Europei come per esempio l'Olanda o il Regno Unito. Le ingiustificate resistenze

culturali (soprattutto a seguito dell'introduzione dell'obbligo di marcatura CE degli aggregati riciclati) dovute all'origine dei materiali ottenuti dal riciclo, sono causate semplicemente dalla forte disinformazione in materia che accomuna, oggi fortunatamente meno, gli enti pubblici e privati; le norme che regolano i procedimenti e le modalità di recupero da sole non sono sufficienti a garantire il radicarsi e il diffondersi della cultura del riciclo; sono necessari invece provvedimenti e disposizioni che incentivino concretamente, sulla base di prefissati obiettivi, alle operazioni di recupero e riciclaggio. Nei punti successivi, si riporteranno i provvedimenti che ad oggi sono stati presi e che rappresentano dei passi importanti per ampliare l'utilizzo dei materiali riciclati.

### **2.5.1 Legge 28 Dicembre 2001, n. 448 - "Disposizioni per la formazione del bilancio annuale e pluriennale dello Stato (Legge Finanziaria 2002)".**

L'articolo 52 comma 56 della legge finanziaria del 2002 rimanda all'articolo 19, comma 4 del Decreto Ronchi e stabilisce che:

*« Entro il 31 Marzo 2002 le Regioni, adottano le disposizioni occorrenti affinché gli uffici e gli enti pubblici, e le società a prevalente capitale pubblico, anche di gestione dei servizi, coprano il fabbisogno annuale dei manufatti e beni, indicati nel medesimo decreto, con una quota di prodotti ottenuti da materiale riciclato non inferiore al 30 per cento del fabbisogno medesimo. »*

L'importanza di tale legge è di immediata comprensione, in quanto promuove in questo modo l'utilizzo di materiali riciclati in sostituzione dei materiali vergini. Detta Legge non specifica le modalità con cui tale percentuale debba essere coperta; maggiori dettagli in tal senso verranno forniti nel Decreto Ministeriale 203/2003 che di fatto rappresenta il primo vero provvedimento volto a promuovere l'utilizzo di materiali riciclati

### **.2.5.2 Decreto Ministeriale 8 Maggio 2003 n.203.**

Oggi l'Italia, per quanto attiene le percentuali di recupero, si colloca in una posizione piuttosto arretrata rispetto agli altri Paesi europei, in particolare nel settore dei rifiuti da costruzione e demolizione e dei rifiuti inerti in genere. Una delle principali cause che hanno ostacolato lo sviluppo di questo settore è stata la resistenza culturale all'uso degli

aggregati riciclati nelle costruzioni, alimentata dall'assenza di strumenti tecnici (Capitolati d'appalto) e normativi adeguati che favorissero l'impiego su vasta scala di questi materiali. Un' opportunità per superare questo ostacolo è stata fornita dal Decreto Ministeriale 203/2003 e dalle Circolari applicative emanate; Il Decreto Ministeriale 203/2003, denominato anche "Decreto 30%", individua le regole e le definizioni affinché gli enti pubblici ed le società a prevalente capitale pubblico garantiscano che manufatti e beni realizzati con materiale riciclato coprano almeno il 30% del fabbisogno annuale. È a tal fine istituito un *Repertorio di Riciclaggio* (RR) contenente:

- a) l'elenco dei materiali ottenuti con materiale di riciclo;
- b) l'elenco dei manufatti e beni in materiale riciclato, indicante l'offerta, la disponibilità e la congruità del prezzo.

Il Repertorio del Riciclaggio è tenuto e reso pubblico a cura dell'Osservatorio Nazionale dei rifiuti (ente di controllo presso il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio). Il RR è lo strumento che permette alle imprese di immettere nel mercato i propri prodotti e i materiali ricavati dal recupero dei rifiuti. Ciò porterà, quando il Repertorio sarà effettivamente operativo, sia in senso qualitativo sia quantitativo, alla realizzazione di un importante mercato dei beni e dei materiali riciclati. Ad oggi, sebbene in vigore, per motivi tecnici e procedurali, non ha conseguito i risultati attesi; il Repertorio conta, purtroppo, ancora un numero di prodotti iscritti non così rilevante; al 2007 risultavano iscritte poco più di una ventina di aziende. Il Decreto ha però avuto il merito di dare il via, a livello nazionale, ad una serie di iniziative e riflessioni sul tema (come ad esempio il GPP trattato al punto 2.5.3). L'art. 6 elenca i dati necessari all'iscrizione, oltre a quelli identificativi dell'azienda, di seguito riportati:

- a) i Codici del Catalogo Europeo dei rifiuti con cui viene realizzato il materiale riciclato;
- b) la percentuale di rifiuti nel materiale riciclato, il cui valore dovrà rispettare i limiti minimi definiti tramite dichiarazione di un soggetto professionalmente abilitato.
- c) indicazione di un tecnico responsabile.

d) una relazione tecnica indicante le eventuali differenze prestazionali tra il bene o manufatto in materiale riciclato e analogo bene o manufatto realizzato con materiali vergini;

All'articolo 3 sono definiti gli obblighi e le metodologie di calcolo con cui l'acquisto dei singoli prodotti va effettuato; è sottolineato al tal proposito che l'acquisto dei singoli prodotti per un quantitativo superiore 30% in una categoria non va a compensare il mancato acquisto in altre categorie. Per ciascuna categoria di prodotto il quantitativo rappresentante il fabbisogno annuale di manufatti e beni viene espresso nell'unità di misura che identifica l'unità di prodotto; per quelle categorie di prodotto per le quali non è possibile individuare un'unità di misura si fa riferimento all'importo annuo destinato all'acquisto di manufatti e beni in quella categoria di prodotto. Inoltre si specifica che le disposizioni indicate si applicano solo ai prodotti presenti nel RR di cui sia verificata la disponibilità e la congruità di prezzo; tale congruità si ritiene rispettata se il prezzo di tali beni non supera quello dei corrispondenti beni contenenti materie prime vergini. *Grazie alla congruità richiesta del prezzo e a tali accorgimenti, l'obbligo di utilizzo degli aggregati riciclati non diviene un ostacolo per le imprese.* L'apertura del Repertorio ha richiesto l'emanazione di Circolari esplicative, contenenti le linee guida per l'iscrizione dei materiali riciclati appartenenti ai diversi settori. Le circolari applicative già emanate che possono avere interesse per il settore infrastrutturale sono le seguenti:

- plastica – Circolare del 04/08/2004 ;;
- rifiuti inorganici da demolizione e manutenzione, nonché conglomerato bituminoso da scarifica – Circolare 5205 del 15/07/2005 ;
- articoli in gomma - Circolare 19/07/2005.

La necessità di emanare delle Circolari esplicative che chiarissero i materiali iscrivibili al RR dipende dal fatto che le disposizioni del Decreto Ministeriale 203/2003, non sono esaustive da sole soprattutto dal punto di vista operativo; al contrario richiedono ulteriori specifiche e disposizioni applicative di dettaglio che dovrebbero essere adottate dalle Regioni secondo l'art. 19, comma 4, D.Lgs n. 22/97 .

**2.5.3 Circolare n. 5205 del 15 Luglio 2005 -“Indicazioni per l’operatività nel settore edile, stradale e ambientale, ai sensi del Decreto Ministeriale 203/2003”.**

Come già accennato al punto 2.5.2, l’apertura del Repertorio di Riciclaggio ha richiesto l’emanazione di Circolari esplicative, contenenti le linee guida per l’iscrizione dei materiali riciclati al Repertorio. La Circolare n. 5205/2005 fornisce quindi, insieme alle altre, le indicazioni per rendere operativo nel settore edile, stradale e ambientale il Decreto Ministeriale 203/2003. In particolare la Circolare definisce a titolo di esempio e in maniera non esaustiva i materiali riciclati ammissibili all’iscrizione nel RR, come indicato in tab.5.

<b><i>A. aggregati riciclati risultanti dal trattamento di rifiuti inorganici post-consumo derivanti da demolizione e manutenzione di opere edili.</i></b>
A.1. aggregato riciclato per la realizzazione del corpo dei rilevati di opere in terra dell’ingegneria civile, avente caratteristiche riportate nell’allegato C1.
A.2. aggregato riciclato per la realizzazione di sottofondi stradali, ferroviari, aeroportuali (allegato C2)
A.3. aggregato riciclato per la realizzazione di strati di fondazione delle infrastrutture di trasporto (allegato C3)
A.4. aggregato riciclato per la realizzazione di recuperi ambientali, riempimenti (allegato C4)
A.5. aggregato riciclato per la realizzazione di strati accessori ( anticapillari, antigelo, drenante etc.)
A.6. aggregato riciclato per il confezionamento di calcestruzzi.
<b><i>B. conglomerato bituminoso riciclato confezionato con rifiuti post-consumo derivati da scarifica stradale.</i></b>

**Tab.5 - materiali riciclati ammissibili all’iscrizione nel RR.**

Per cui tutti i materiali la cui definizione si avvicina alle sopra citate possono fare domanda di iscrizione al Repertorio. Per quanto riguarda i vincoli imposti dalla tecnologia di produzione degli aggregati riciclati non vi sono particolari limiti in peso massimi imposti, mentre il *limite minimo di rifiuti inerti* negli aggregati riciclati deve essere pari almeno al 60%. Riguardo la produzione di conglomerati bituminosi riciclati si impone invece il minimo del 20% di rifiuto inerte da scarifica. È inoltre specificato che i rifiuti derivanti dal post-consumo possono essere miscelati con altri derivanti

anche da diversa origine (rifiuti inerti industriali, terre e rocce da scavo naturali, ecc.), mantenendo, tuttavia, la natura prevalente della miscela con un limite minimo della provenienza da rifiuti post-consumo. Alle indicazioni relative all'obbligo di utilizzo di materiale riciclato per un valore pari al 30% annuo del fabbisogno, già fornite nel Decreto Ministeriale 203/03, è aggiunta la specificazione che tale obbligo si genera nel momento in cui i prodotti iscritti nel Repertorio di Riciclaggio presentino medesime caratteristiche e prestazioni conformi all'utilizzo a cui sono destinate rispetto a quelli realizzati a partire da materiali naturali. Si chiariscono inoltre le modalità di iscrizione dei materiali al Repertorio. *Per quanto concerne invece i criteri tecnici e prestazionali, che i materiali e i manufatti riciclati devono possedere per ottenere l'iscrizione al RR, essi vengono forniti all'Allegato C della Circolare per ogni destinazione d'uso:*

- corpo dei rilevati;
- sottofondi stradali;
- strati di fondazione (delle infrastrutture di trasporto e di piazzali civili e industriali);
- recuperi ambientali, riempimenti, colmate;
- strati accessori aventi funzioni antigelo, anticapillare, drenante, ecc.

Come si può notare nelle tabelle che seguono, le prove elencate per classificare i materiali riciclati sono riferite alle norme emesse in sostituzione della UNI 10006-2002, come si vedrà nel dettaglio al capitolo III, e al Decreto Ministeriale 5/02/98 per quanto concerne il test di cessione, trattato al punto 2.4. All'Allegato C è specificato che gli aggregati per miscele non legate destinati a lavori stradali e ad altri lavori di ingegneria civile, devono essere caratterizzati conformemente con la UNI EN 13242 (come specificato nel capitolo III); è anche definita la modalità con cui le prove devono essere eseguite; il materiale riciclato va infatti classificato per lotti, i quali possono avere dimensione massima pari a 3000 m<sup>3</sup>, con una frequenza minima definita di prove stabilita in base all'Appendice C della UNI EN 13242 (punto 3.4.2 del capitolo III); è indicato anche che possono essere utilizzati solamente i lotti precedentemente caratterizzati e che tale caratterizzazione è da intendersi valida esclusivamente per il lotto a cui si riferisce.

## Capitolo 2: Quadro normativo

PARAMETRO	MODALITA' DI PROVA	LIMITE
Materiali litici di qualunque provenienza, pietrisco tolto d'opera, calcestruzzi, laterizi, refrattari, prodotti ceramici, malte idrauliche ed aeree, intonaci, scorie spente e loppe di fonderia di metalli ferrosi (caratterizzate secondo EN 13242)	Separazione visiva sul trattenuto al setaccio 8 mm. (rif. UNI EN 13285:2004)	> 70% in massa
Vetro e scorie vetrose	Idem	≤ 15% in massa
Conglomerati bituminosi	Idem	≤ 25% in massa
Altri rifiuti minerali dei quali sia ammesso il recupero nel corpo stradale ai sensi della legislazione vigente	Idem	≤ 15% in totale e ≤ 5% per ciascuna tipologia
Materiali deperibili: carta, legno, fibre tessili, cellulosa, residui alimentari, sostanze organiche eccetto bitume; Materiali plastici cavi: corrugati, tubi o parti di bottiglie in plastica, etc.	Idem	≤ 0.1% in massa
Altri materiali (metalli, gesso, guaine, gomme, lana di roccia o di vetro, etc.)	Idem	≤ 0.6% in massa
Passante al setaccio da 63 mm.	UNI EN 933/1	85 – 100 %
Passante al setaccio da 4 mm.	UNI EN 933/1	≤ 60%
Passante al setaccio da 0.063 mm.	UNI EN 933/1	≤ 15%
Equivalentente in Sabbia	UNI EN 933-8	>20
Dimensione massima $D_{max}$	UNI EN 933/1	= 125 mm.
Ecocompatibilità	Test di cessione di cui all'Allegato 3 Dm 05/02/1998	Il materiale dovrà risultare conforme al test di cessione previsto dal D.M. 5/02/1998

**Tab.5 - Allegato C1 Circolare 5205/2005 - CORPO DEI RILEVATI**

## Capitolo 2: Quadro normativo

<b>PARAMETRO</b>	<b>MODALITA' DI PROVA</b>	<b>LIMITE</b>
Materiali litici di qualunque provenienza, pietrisco tolto d'opera, calcestruzzi, laterizi, refrattari, prodotti ceramici, malte idrauliche ed aeree, intonaci, scorie spente e loppe di fonderia di metalli ferrosi (caratterizzate secondo EN 13242)	Separazione visiva sul trattenuto al setaccio 8 mm. (rif. UNI EN 13285:2004)	> 80% in massa
Vetro e scorie vetrose	Idem	≤ 10% in massa
Conglomerati bituminosi	Idem	≤ 25% in massa
Altri rifiuti minerali dei quali sia ammesso il recupero nel corpo stradale ai sensi della legislazione vigente	Idem	≤ 15% in totale e ≤ 5% per ciascuna tipologia
Materiali deperibili: carta, legno, fibre tessili, cellulosa, residui alimentari, sostanze organiche eccetto bitume; Materiali plastici cavi: corrugati, tubi o parti di bottiglie in plastica, etc.	Idem	≤ 0.1% in massa
Altri materiali (metalli, gesso, guaine, gomme, lana di roccia o di vetro, etc.).	Idem	≤ 0.4% in massa
Equivalente in Sabbia	UNI EN 933-8	>30
Perdita in peso per abrasione con apparecchio "Los Angeles"	UNI EN 1097/2	≤ 45
Passante al setaccio da 63 mm.	UNI EN 933/1	= 100 %
Passante al setaccio da 4 mm.	UNI EN 933/1	≤ 60%
Rapporto tra il Passante al setaccio da 0.5 mm. Ed il Passante al setaccio da 0.063 mm.	UNI EN 933/1	> 3/2
Passante al setaccio da 0.063 mm.	UNI EN 933/1	≤ 15%
Indice di forma (frazione > 4 mm.)	UNI EN 933/4	≤ 40
Indice di appiattimento (frazione > 4 mm.)	UNI EN 933/3	≤ 35
Ecocompatibilità	Test di cessione di cui all'Allegato 3 Dm 05/02/1998	Il materiale dovrà risultare conforme al test di cessione previsto dal D.M. 5/02/1998

**Tab.6 - Allegato C2 Circolare 5205/2005 – SOTTOFONDI STRADALI.**

**Capitolo 2: Quadro normativo**

<b>PARAMETRO</b>	<b>MODALITA' DI PROVA</b>	<b>LIMITE</b>
Materiali litici di qualunque provenienza, pietrisco tolto d'opera, calcestruzzi, laterizi, refrattari, prodotti ceramici, malte idrauliche ed aeree, intonaci, scorie spente e loppe di fonderia di metalli ferrosi (caratterizzate secondo EN 13242)	Separazione visiva sul trattenuto al setaccio 8 mm. (rif. UNI EN 13285:2004)	> 90% in massa
Vetro e scorie vetrose	Idem	≤ 5% in massa
Conglomerati bituminosi	Idem	≤ 5% in massa
Altri rifiuti minerali dei quali sia ammesso il recupero nel corpo stradale ai sensi della legislazione vigente	Idem	≤ 5% per ciascuna tipologia
Materiali deperibili: carta, legno, fibre tessili, cellulosa, residui alimentari, sostanze organiche eccetto bitume; Materiali plastici cavi: corrugati, tubi o parti di bottiglie in plastica, etc.	Idem	≤ 0.1% in massa
Altri materiali (metalli, gesso, guaine, gomme, lana di roccia o di vetro, etc.).	Idem	≤ 0.4% in massa
Equivalente in Sabbia	UNI EN 933-8	> 30
Perdita in peso per abrasione con apparecchio "Los Angeles"	UNI EN 1097/2	≤ 30
Passante al setaccio da 40 mm.	UNI EN 933/1	= 100 %
Passante al setaccio da 20 mm.	UNI EN 933/1	> 61 %; < 79 %
Passante al setaccio da 10 mm.	UNI EN 933/1	> 41 %; < 64 %
Passante al setaccio da 4 mm.	UNI EN 933/1	> 31 %; < 49 %
Passante al setaccio da 2 mm.	UNI EN 933/1	> 22 %; < 36 %
Passante al setaccio da 1 mm.	UNI EN 933/1	> 13 %; < 30 %
Passante al setaccio da 0.5 mm.	UNI EN 933/1	> 10 %; < 20 %
Rapporto tra il Passante al setaccio da 0.5 mm. Ed il Passante al setaccio da 0.063 mm.	UNI EN 933/1	> 3/2
Passante al setaccio da 0.063 mm.	UNI EN 933/1	≤ 10%
Indice di forma (frazione > 4 mm.)	UNI EN 933/4	≤ 40
Indice di appiattimento (frazione > 4 mm.)	UNI EN 933/3	≤ 35
Ecocompatibilità	Test di cessione di cui all'Allegato 3 Dm 05/02/1998	Il materiale dovrà risultare conforme al test di cessione previsto dal D.M. 5/02/1998

**Tab.7 - Allegato C3 Circolare 5205/2005 – STRATI DI FONDAZIONE.**

<b>PARAMETRO</b>	<b>MODALITA' DI PROVA</b>	<b>LIMITE</b>
Materiali litici di qualunque provenienza, pietrisco tolto d'opera, calcestruzzi, laterizi, refrattari, prodotti ceramici, malte idrauliche ed aeree, intonaci, scorie spente e loppe di fonderia di metalli ferrosi (caratterizzate secondo EN 13242)	Separazione visiva sul trattenuto al setaccio 8 mm. (rif. UNI EN 13285:2004)	> 70% in massa
Vetro e scorie vetrose	Idem	≤ 15% in massa
Conglomerati bituminosi	Idem	≤ 25% in massa
Altri rifiuti minerali dei quali sia ammesso il recupero nel corpo stradale ai sensi della legislazione vigente	Idem	≤ 15% in totale e ≤ 5% per ciascuna tipologia
Materiali deperibili: carta, legno, fibre tessili, cellulosa, residui alimentari, sostanze organiche eccetto bitume; Materiali plastici cavi: corrugati, tubi o parti di bottiglie in plastica, etc.	Idem	≤ 0.1% in massa
Altri materiali (metalli, gesso, guaine, gomme, lana di roccia o di vetro, etc.).	Idem	≤ 0.6% in massa
Passante al setaccio da 63 mm.	UNI EN 933/1	85 - 100 %
Passante al setaccio da 0.063 mm.	UNI EN 933/1	≤ 15%
Ecocompatibilità	Test di cessione di cui all'Allegato 3 Dm 05/02/1998	Il materiale dovrà risultare conforme al test di cessione previsto dal Dm 5/02/1998

**Tab.8 - Allegato C4 Circolare 5205/2005 – RECUPERI AMBIENTALI, RIEMPIMENTI E COLMATE.**

<b>PARAMETRO</b>	<b>MODALITA' DI PROVA</b>	<b>LIMITE</b>
Materiali litici di qualunque provenienza, pietrisco tolto d'opera, calcestruzzi, laterizi, refrattari, prodotti ceramici, malte idrauliche ed aeree, intonaci, scorie spente e loppe di fonderia di metalli ferrosi (caratterizzate secondo EN 13242)	Separazione visiva sul trattenuto al setaccio 8 mm. (rif. UNI EN 13285:2004)	> 80% in massa
Vetro e scorie vetrose	Idem	≤ 10% in massa
Conglomerati bituminosi	Idem	≤ 25% in massa
Altri rifiuti minerali dei quali sia ammesso il recupero nel corpo stradale ai sensi della legislazione vigente	Idem	≤ 15% in totale e ≤ 5% per ciascuna tipologia
Materiali deperibili: carta, legno, fibre tessili, cellulosa, residui alimentari, sostanze organiche eccetto bitume; Materiali plastici cavi: corrugati, tubi o parti di bottiglie in plastica, etc.	Idem	≤ 0.1% in massa
Altri materiali (metalli, gesso, guaine, gomme, lana di roccia o di vetro, etc.).	Idem	≤ 0.4% in massa
Ecocompatibilità	Test di cessione di cui all'Allegato 3 Dm 05/02/1998	Il materiale dovrà risultare conforme al test di cessione previsto dal Dm 5/02/1998

**Tab.9 - Allegato C5 Circolare 5205/2005 – STRATI ACCESSORI AVENTI FUNZIONI ANTIGELO, ANTICAPILLARE, DRENANTE etc.**

Come si può notare, la Circolare ha focalizzato la propria attenzione, imponendo dei limiti sulle seguenti caratteristiche degli aggregati riciclati:

- composizione;
- resistenza;
- forma;
- granulometria;
- ecocompatibilità.

La sostituzione dei materiali naturali con quelli riciclati non deve infatti andare a discapito della qualità e della sicurezza delle opere che vengono realizzate. Gli aggregati riciclati, così come gli aggregati naturali, non possiedono tutti le medesime caratteristiche pertanto, è fondamentale che siano imposti precisi requisiti di forma, granulometria, composizione e resistenza, oltre che ambientali, che garantiscano un sicuro utilizzo finale. Per quanto riguarda la *composizione* degli aggregati riciclati gli inconvenienti tecnici rilevanti sono in genere provocati dalla presenza di materiali deperibili; questo perchè il volume occupato inizialmente da questi materiali si trasforma in vuoti interstiziali dopo la degradazione delle sostanze organiche e l'evaporazione dei liquidi in essi contenuti, provocando, nel tempo, cedimenti; per questo il limite imposto alla presenza di elementi deperibili (carta, legno, ecc.) è piuttosto rigoroso, a causa della loro consistente presenza nei rifiuti da costruzione e demolizione, soprattutto se l'impresa non ha avuto particolare riguardo nella separazione dei diversi flussi di rifiuti prodotti in cantiere. Gli impianti fissi sono generalmente dotati di speciali dispositivi che riescono a eliminare quasi completamente la frazione leggera e non trovano difficoltà nel rispettare il limite imposto. Gli impianti mobili, invece, per poter rientrare nei limiti, non avendo la possibilità di eliminare la frazione leggera durante il trattamento, dovranno, necessariamente, provvedere all'eliminazione dei rifiuti indesiderati prima di immetterli nell'impianto; Considerando invece la *resistenza*, gli aggregati riciclati sono, in genere, costituiti da grani litici o da frammenti di laterizi ricoperti parzialmente da malte o da intonaci, ovvero materiali disomogenei. Essi presentano quindi parti friabili facilmente separabili per azione d'urto e sfregamento. L'esperienza condotta fino ad oggi ha dimostrato che le miscele assortite ottenute dalle demolizioni edilizie originino partite di prodotto ricche di malte o intonaci e molto carenti di elementi litici. In questo caso, la miscela tenderebbe alla polverizzazione, perdendo ogni capacità portante; per questo motivo è fondamentale porre dei limiti ai aggregati riciclati destinati ad avere caratteristiche di portanza. I limiti imposti relativamente alle caratteristiche di *forma* sono invece giustificati dal fatto che essi possono influenzare la costipabilità della miscela e ridurne, di conseguenza, la portanza. Molti capitolati esprimono l'esigenza che nella miscela non sia elevata la presenza di grani piatti o allungati. Gli aggregati riciclati, per la loro stessa provenienza, possono contenere numerosi elementi piatti (frammenti di mattoni forati, di rivestimenti, di pavimenti); da qui deriva la necessità di imporre tali limiti. Per

quanto riguarda invece i limiti ambientali imposti, in Italia il comportamento ambientale degli aggregati riciclati deve essere conforme al Decreto Ministeriale 5 Febbraio 1998 e alle modifiche introdotte dal Decreto Ministeriale 5 Aprile 2006, n.186., trattati al punto 2.4.

**2.5.4 Circolare del 19 Luglio 2005 - “Indicazioni relative ai materiali riciclati e beni e manufatti ottenuti con materiale riciclato, proveniente da articoli in gomma, ai sensi del Decreto Ministeriale dell’ 8 Maggio 2003, n. 203”.**

La presente Circolare definisce, in linea con gli obiettivi della Circolare 5205 e con il Decreto Ministeriale 203/2003, a titolo informativo e in maniera non esaustiva i *materiali riciclati provenienti da articoli in gomma* iscrivibili nel Repertorio del Riciclaggio. Questi materiali non hanno nulla a che vedere con il recupero dei materiali C&D, ma va comunque messa in luce la grande potenzialità che possono avere se adoperati; in particolare essi si prestano ad essere riutilizzati in svariati settori, quali l’edilizia, l’arredo urbano, le infrastrutture viarie e tranviarie. In tab.10 sono riportati alcuni esempi, forniti nella Circolare stessa, di prodotti ottenuti con materiale riciclato proveniente da gomma, iscrivibili nel Repertorio del Riciclaggio .

Segnaletica verticale o orizzontale
Dossi artificiali
Rotonde spartitraffico
Manto o pavimentazione in conglomerato bituminoso o conglomerato cementizio, eventualmente prefabbricato in lastre, rotoli, ecc.
Casseri, pannelli o gabbie per sottofondi drenanti e/o rilevati per ingegneria civile e/o stradale
Pavimentazioni in conglomerati resino gommosi
Barriere stradali, spartitraffico, attenuatori d'urto ad assorbimento
Barriere antirumore
Barriere fonoassorbenti

**Tab.10 – Esempi di materiali o beni, ottenuti con materiale riciclato da gomma, iscrivibili nel RR.**

Tra gli esempi di materiali riciclati, realizzati utilizzando rifiuti provenienti dal recupero di articoli in gomma di natura diversa, iscrivibili nel RR, la Circolare riporta a titolo d'esempio il seguente elenco:

- polimeri elastomerici omogenei composti da: SBR, NR, BR, IR,CR, CIIR, CSM, EPDM, gomma siliconica, gomme fluorurate, ecc.;
- polimeri elastomerici vulcanizzati eterogenei: materiali eterogenei costituiti da diverse matrici polimeriche;
- materiali compositi a base di polimeri elastomerici e termoplastici (miscele di gomma e plastica);
- bitumi modificati con polverino di gomma (tecnica wet);
- conglomerati bituminosi con granulo di gomma (tecnica dry);
- conglomerati cementizi modificati con granulo di gomma;
- malte e pre-miscelati con polverino e granulo di gomma;
- pre-miscelati di polverino e/o granulo di gomma con altri polimeri e/o inerti;
- conglomerati resino gommosi di granulo e/o polverino e leganti poliuretanic, polimerici e/o altri leganti.

Per quanto riguarda i limiti in peso di rifiuto in gomma che devono essere contenuti nel materiale riciclato, è bene sottolineare come essi siano molto variabili a seconda della tecnologia impiegata per la produzione del materiale riciclato stesso e delle prestazioni legate al suo utilizzo funzionale. Di conseguenza, per tali materiali, l'entità effettiva dei rifiuti in gomma impiegati dovrà essere dichiarata nella perizia a corredo della domanda di iscrizione del materiale. Al fine di agevolare il compito del tecnico e dell'impresa la circolare individua a titolo esemplificativo i limiti minimi relativi alla percentuale di rifiuto in gomma sul totale del materiale per alcune delle principali tecnologie utilizzate nella produzione (tab.11).

TECNOLOGIE	LIMITI (MINIMI) PERCENTUALI IN PESO
Stampaggio (a "compressione" "transfer" e "iniezione")	20%
Trafilatura/estrusione 2000	20%
Mescolazione	20%
Altre (calandratura, spalmatura, ecc..)	5%
Intaso prestazionale per erba artificiale	
Miscelazione per la formazione di pre-miscelati di polverino e o granulo di gomma con altri polimeri e/o inerti	80%
	60%
Miscelazione con leganti poliuretatici, polimerici e/ o altri leganti per realizzare conglomerati resino-gommosi	70%
Stampaggio a freddo previa conglomerazione di leganti polimerici - poliuretatici e/o altri leganti	70%
Miscelazione per conglomerati bituminosi (tecnologia "dry")	3%
Miscelazione previa modifica dei bitumi (tecnologia "wet")	8%
Miscelazione per conglomerati cementizi	5%
Miscelazione per conglomerati cementizi (funzione termoisolante)	10%

**Tab.11 - Percentuali minime in peso di rifiuti in gomma contenute nel materiale riciclato per alcune delle principali tecnologie utilizzate nella produzione.**

### 2.5.5 Green Public Procurement (GPP) – Appalti Pubblici Verdi.

I propositi volti a promuovere l'utilizzo dei materiali riciclati da parte degli enti pubblici, hanno preso piede già dalla fine degli anni '90; con Il Libro Verde "Gli appalti pubblici nell'Unione Europea" del 1996 la Commissione Europea ha progressivamente aumentato la propria attenzione verso lo strumento del GPP (Green Public Procurement - Acquisti Pubblici Verdi). Il GPP è stato riconosciuto dalla Commissione Europea nella Comunicazione 2003/302 . In tale comunicazione venivano invitati gli Stati Membri ad adottare dei *Piani d'azione nazionali* sul GPP per assicurarne la massima diffusione. Il GPP è in particolare uno strumento di politica ambientale volontario che intende favorire lo sviluppo di un mercato di prodotti e servizi a ridotto impatto ambientale, come gli aggregati riciclati, attraverso la leva della domanda pubblica; dato il peso rilevante degli acquisti pubblici sull'intero sistema economico dei paesi Europei, è evidente come il GPP possa creare le condizioni per favorire la diffusione di un modello di produzione e consumo sostenibile. L'Italia, con il

D.Lgs. 12 Aprile 2006 n. 163, *“Codice dei contratti pubblici relativi a lavori, servizi e forniture in attuazione delle Direttive 2004/17/CE e 2004/18/CE”* (che hanno introdotto la possibilità di integrare considerazioni ambientali nelle procedure di appalto), ha recepito le Direttive Comunitarie in materia. In particolare, l’art. 2 stabilisce la possibilità di *“subordinare il principio di economicità, alla base dell’assegnazione degli appalti, a criteri basati sullo sviluppo sostenibile”*. Il Decreto continua precisando all’art.68 che le specifiche tecniche, che figurano nei documenti dei contratti, quali il bando di gara, il Capitolato d'oneri o i documenti complementari, devono essere definite in modo da tenere conto dei criteri della tutela ambientale, ogni qualvolta sia possibile. Sulla stessa linea, la Commissione Europea, in tema di GPP, ha emanato la *Comunicazione n.400 del 16 Giugno 2008, “Acquisti pubblici per un ambiente migliore”*, mettendo in luce i potenziali vantaggi degli acquisti verdi della Pubblica Amministrazione e sottolineando come gli questi possano realmente orientare il mercato a favore di prodotti dall’ alto profilo ambientale, come i prodotti riciclati. Basta ricordare come ogni anno le Amministrazioni Pubbliche Europee spendano l’equivalente del 16% del Prodotto Interno Lordo per l’acquisto di beni, compresi i materiali da costruzione; la Commissione nella stessa Comunicazione ha individuato dieci settori *“prioritari”* per il GPP tra i quali è compreso il settore delle costruzioni. Per dare ulteriore impulso al GPP inoltre la Comunicazione 2008/400 aveva proposto come target politico da conseguire entro il 2010 che il *50% di tutte le gare di appalto fossero “verdi”*, lanciando inoltre la proposta di rendere il GPP strumento obbligatorio e sottolineando la necessità di orientamenti giuridici e operativi per l’attuazione del GPP, in quanto l’incertezza su alcune questioni diviene una barriera al ricorso di tale tipo di appalti/acquisti. Nel 2008 inoltre, accogliendo l’indicazione contenuta nella Comunicazione della Commissione Europea COM 2003/302, il Decreto Ministeriale Ambiente dell’11 Aprile 2008 ha approvato il Piano d'Azione (PAN GPP) per la sostenibilità ambientale dei consumi nel settore della pubblica amministrazione. Il piano fornisce un quadro generale sul Green Public Procurement, delinea la strategia per la diffusione del GPP, definisce i criteri ambientali minimi (da inserire nelle procedure d'acquisto), stabilisce gli obiettivi ambientali di riferimento qualitativi e quantitativi e gli obiettivi Nazionali da raggiungere. Detta inoltre specifiche prescrizioni per gli enti pubblici affinché redigano uno specifico programma interno per implementare le azioni

in ambito GPP. In sintesi il Piano d'Azione Italiano ha lo scopo di diffondere il GPP attraverso le seguenti azioni:

- coinvolgimento dei soggetti rilevanti per il GPP a livello nazionale;
- diffusione della conoscenza del GPP presso la Pubblica Amministrazione e gli altri enti pubblici, attraverso attività di divulgazione e di formazione;
- definizione di indicazioni metodologiche per la costruzione di processi di acquisto "sostenibili" e di criteri ambientali da inserire nei capitolati di gara;
- definizione di obiettivi nazionali, da raggiungere e ridefinire ogni tre anni;
- monitoraggio periodico sulla diffusione del GPP e analisi dei benefici ambientali ottenuti.

Conformemente con l'ultimo dei seguenti punti, il 22 Luglio 2011 è stato firmato un Protocollo d'Intesa tra l'Autorità di Vigilanza sui Contratti Pubblici ed il Ministero dell'Ambiente in base al quale l'Autorità raccoglierà i dati per il monitoraggio dell'applicazione del PAN GPP come pubblicato sulla GU n. 262 del 09/11/2010. Tra le novità in materia di GPP è bene ricordare che è stato istituito dal Ministero dell'Ambiente un gruppo di lavoro "Green road" allo scopo di definire i criteri ambientali da inserire nei Capitolati per la costruzione e la manutenzione delle strade. L'obiettivo è quello di definire le specifiche riguardanti l'esecuzione delle opere, inclusi i requisiti sui materiali e le tecniche costruttive da adottare, che formano tipicamente l'oggetto del capitolato speciale dell'appalto di lavori, finalizzate a ridurre l'impatto ambientale.

### **2.6 Decreto Legislativo del 3 Aprile 2006, n.152 "Norme in materia ambientale" e Decreto Legislativo del 16 Gennaio 2008, n. 4 "Ulteriori disposizioni correttive ed integrative del Decreto Legislativo 3 Aprile 2006, n. 152, recante norme in materia ambientale".**

Il Decreto Legislativo 152/2006 rappresenta il provvedimento nazionale di riferimento in materia di valutazione di impatto ambientale, difesa del suolo e tutela delle acque, gestione dei rifiuti, riduzione dell'inquinamento atmosferico e risarcimento dei danni ambientali. Il testo disciplina le materie seguenti:

- a) nella parte seconda, le procedure per la valutazione ambientale strategica (VAS), per la valutazione d'impatto ambientale (VIA) e per l'autorizzazione ambientale integrata (IPPC);
- b) nella parte terza, la difesa del suolo e la lotta alla desertificazione, la tutela delle acque dall'inquinamento e la gestione delle risorse idriche;
- c) nella parte quarta, la gestione dei rifiuti e la bonifica dei siti contaminati;
- d) nella parte quinta, la tutela dell'aria e la riduzione delle emissioni in atmosfera;
- e) nella parte sesta, la tutela risarcitoria contro i danni all'ambiente.

Di queste è di interesse per il recupero di materiali C&D la parte quarta, in particolare dall' articolo 177 in poi, *che contiene insieme tutte le indicazioni legislative seguenti il Decreto Ronchi in linea con le norme europee nel settore* finalizzate a favorire:

- a) il riutilizzo, il reimpiego ed il riciclaggio;
- b) le altre forme di recupero per ottenere materia prima secondaria dai rifiuti;
- c) l'adozione di misure economiche e la previsione di condizioni di appalto che prescrivano l'impiego dei materiali recuperati dai rifiuti al fine di favorire il mercato di tali materiali.

Tra le novità più importanti introdotte rispetto alla legislazione precedente vi è l'introduzione della definizione di *sottoprodotto*, inteso come prodotto dell'attività dell'impresa che, pur non costituendo l'oggetto dell'attività principale, scaturisce dal processo industriale ed è destinato ad un ulteriore impiego o al consumo; *si ricorda che rifiuto e sottoprodotto rappresentano le due categorie attraverso le quali qualificare un residuo di produzione. La loro differenziazione ai fini del loro trattamento è fondamentale.* In particolare non sono soggetti alle disposizioni per i rifiuti i sottoprodotti di cui l'impresa non abbia deciso di disfarsi (art.183 n). *Al fine di garantire un impiego certo del sottoprodotto, deve esserne verificata la rispondenza agli standard merceologici e ambientali, nonché alle norme tecniche, di sicurezza e di settore e deve inoltre essere attestata la destinazione del sottoprodotto ad effettivo utilizzo tramite una dichiarazione del produttore o detentore, controfirmata dal titolare dell'impianto dove avviene l'effettivo utilizzo.* La differenziazione tra rifiuti e sottoprodotti è un settore

ricco di problematiche, soprattutto quando si parla di terre e rocce di scavo, *ottenute quali sottoprodotti*. La mancata chiarezza di definizione ha creato, fino alla recente uscita del Decreto Ministeriale 161/2012 (trattato al punto 2.11), numerose difficoltà alle imprese ostacolando il riutilizzo. Il D.Lgs 152/2006 indica inoltre le condizioni per cui le terre e rocce da scavo non sono sottoposte alla normativa sui rifiuti, mentre il D.Lgs 16 gennaio 2008, n. 4, specifica nel dettaglio che esse possono essere utilizzate per rinterri, riempimenti, rimodellazioni e rilevati purchè:

a) siano impiegate direttamente nell'ambito di opere o interventi preventivamente individuati e definiti;

b) sin dalla fase della produzione vi sia certezza dell'integrale utilizzo;

c) l'utilizzo integrale della parte destinata a riutilizzo sia tecnicamente possibile *senza necessità di preventivo trattamento o di trasformazioni preliminari per soddisfare i requisiti merceologici e di qualità ambientale idonei a garantire che il loro impiego non dia luogo ad emissioni* e, più in generale, ad impatti ambientali qualitativamente e quantitativamente diversi da quelli ordinariamente consentiti ed autorizzati per il sito dove sono destinate ad essere utilizzate;

d) sia garantito un elevato livello di tutela ambientale;

e) sia accertato che non provengano da siti contaminati o sottoposti ad interventi di bonifica;

f) le loro caratteristiche chimiche e chimico-fisiche siano tali che il loro impiego nel sito prescelto non determini rischi per la salute e per la qualità delle matrici ambientali interessate.

g) la certezza del loro integrale utilizzo sia dimostrata. L'impiego di terre da scavo nei processi industriali come sottoprodotti, in sostituzione dei materiali di cava, è infatti consentito nel rispetto delle condizioni fissate all'articolo 183, comma 1, lettera p.

È bene sottolineare come la qualifica di sottoprodotto imponga che questi materiali debbano essere utilizzati senza trasformazioni preliminari; resta dubbia quindi la possibilità di lavorarli in cava. La mancanza di specifiche a riguardo ha creato numerose difficoltà di interpretazione nello svolgimento delle attività delle imprese che utilizzano il materiale di scavo. Tale lacuna interpretativa è stata chiarita finalmente dal

Decreto del ministero dell’Ambiente n. 161 del 10 Agosto 2012 (di cui si parlerà al punto 2.11). All’articolo 186 del D.Lgs 4/2008 sono inoltre specificati i tempi di deposito per tali materiali.

## **2.7 Normative relative al Monitoraggio dei rifiuti.**

Condizione imprescindibile per potere impostare correttamente una politica di gestione dei rifiuti è conoscerne i reali quantitativi in gioco; sulla base di quest’ultima considerazione il Decreto Ronchi aveva imposto l’obbligo, per chi effettua attività di raccolta e trasporto di rifiuti, di comunicare annualmente al Catasto dei Rifiuti le quantità e le caratteristiche qualitative dei rifiuti prodotti. Nonostante questo le informazioni sulle quantità di rifiuti C&D prodotti annualmente risultavano poco attendibili e in particolare fortemente sottostimate. Un passo avanti è stato fatto con il Decreto Ministeriale Ambiente del 17 Dicembre 2009, il quale ha istituito un vero e proprio sistema di monitoraggio dei rifiuti, che effettua la tracciabilità dei rifiuti in maniera informatica, in modo da velocizzare i tempi legati alla gestione delle informazioni legate alla produzione dei rifiuti.

### **2.7.1 Decreto Ministeriale Ambiente del 17 Dicembre 2009 – “Istituzione del Sistema di Controllo della Tracciabilità dei Rifiuti – I SISTRI”, modificato dal Decreto Ministeriale del 15 Febbraio 2010 – “Modifiche ed integrazioni al Decreto Ministeriale del 17 Dicembre 2009”.**

Il Sistema di Controllo della Tracciabilità dei Rifiuti, nel seguito detto anche SISTRI, nasce con l’obiettivo di garantire maggiore trasparenza ed efficienza al sistema di monitoraggio dei rifiuti al fine di potere incrementare i controlli e le informazioni ad esso connesse, *da potere poi utilizzare come fonte per ulteriori miglioramenti da apportare al sistema di gestione e in particolare di recupero dei rifiuti.* Il sistema è gestito dal Comando Carabinieri per la Tutela dell’Ambiente. Le novità principali del sistema sono che il Formulario di trasporto, i Registri di carico e scarico e il *Modello Unico di Dichiarazione Ambientale MUD* di cui alla Legge del 25 Gennaio 1994, n. 70 (modello attraverso il quale devono essere denunciati i rifiuti dell’anno precedente la dichiarazione), vengono sostituiti con dispositivi elettronici attraverso i quali è effettuata la gestione informatica e la tracciabilità dei rifiuti. Le modalità di iscrizione ai SISTRI sono indicate all’articolo 3. Agli iscritti vengono

consegnati un dispositivo elettronico per l'accesso in sicurezza dalla propria postazione al sistema informatico, definito dispositivo USB, idoneo a consentire la trasmissione dei dati, a firmare elettronicamente le informazioni fornite ed a memorizzarle sul dispositivo stesso. È necessario dotarsi di un dispositivo USB per ciascuna attività di gestione dei rifiuti svolta. In base all'articolo 4, la copertura degli oneri derivanti dal funzionamento del SISTRI è assicurata mediante il pagamento di un contributo annuale versato da ciascun soggetto (di cui agli articoli 1 e 2) per ciascuna attività di gestione dei rifiuti svolta all'interno dell'unità locale. Le informazioni da fornire che ciascun soggetto deve fornire sono riportate nelle schede di cui all'allegato III(art.5). Le istruzioni dettagliate per la compilazione delle schede sono disponibili nel portale del sistema SISTRI ([www.SISTRI.it](http://www.SISTRI.it)). La persona fisica cui è associato il certificato elettronico contenuto nel dispositivo USB è il titolare della firma elettronica ed è responsabile della veridicità dei dati inseriti mediante l'utilizzo del dispositivo nelle schede SISTRI sottoscritte con firma elettronica. Durante il trasporto i rifiuti sono accompagnati dalla copia cartacea della Scheda SISTRI. La responsabilità del produttore dei rifiuti per il corretto recupero o smaltimento degli stessi è esclusa a seguito dell'invio da parte del SISTRI, della comunicazione di accettazione dei rifiuti da parte dell'impianto di recupero o smaltimento. I dati ottenuti dal sistema in base all'art.8 sono poi trasmessi al Catasto dei Rifiuti e all'Albo Nazionale Gestori Ambientali. Il Sistema di Controllo della Tracciabilità dei Rifiuti è infatti interconnesso telematicamente al Catasto dei Rifiuti. In base all'art.9 poi, le informazioni detenute dal sistema sono rese disponibili agli organi deputati alla sorveglianza. L'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA) organizza il Catasto dei Rifiuti per via informatica attraverso la costituzione del Catasto Telematico. L'ISPRA elabora i dati forniti dal SISTRI ai fini della predisposizione di un rapporto annuale e ai fini della trasmissione al Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare dei dati necessari per le Comunicazioni alla Commissione Europea (art.10). In base all'articolo 12, entro il 30 Aprile 2012 i produttori di rifiuti, le imprese e gli enti che effettuano operazioni di recupero e di smaltimento dei rifiuti che erano tenuti alla presentazione del *modello unico di dichiarazione ambientale MUD*, comunicano al SISTRI compilando l'apposita scheda le seguenti informazioni, sulla base dei dati inseriti nel registro di carico:

- a) il quantitativo totale di rifiuti annotati in carico e scarico sul registro, suddiviso per codice CER;
- c) per le imprese e gli enti che effettuano operazioni di recupero e di smaltimento dei rifiuti, le operazioni di gestione dei rifiuti effettuate;
- d) per ciascun codice CER, il quantitativo totale che risulta in giacenza.

Inoltre, il funzionamento del SISTRI sarà monitorato da un Comitato di vigilanza e controllo. La Procedura di iscrizione al Sistri è indicata all' Allegato IA di tale decreto. La gestione informatica del sistema dei rifiuti prevista dal SISTRI assicura numerosi vantaggi anche agli Operatori. Infatti, consente un inserimento dei dati più rapido e garantisce una sensibile riduzione degli errori che vengono attualmente commessi nella compilazione cartacea del Formulario di Identificazione dei Rifiuti, del Registro di carico e scarico e del MUD. Questo aiuterà nel tempo a conoscere con maggiore certezza i dati di produzione annuale di rifiuti da C&D, indispensabili, insieme alle quantità riciclate, per potere ricavare informazioni sulle percentuali recuperate.

## **2.8 Decreto Legislativo n. 205 del 10 Dicembre 2010 "Disposizioni di attuazione della Direttiva 2008/98/CE" .**

Con la pubblicazione del Decreto Legislativo n. 205 del 10 Dicembre 2010 è stata recepita nell'ordinamento italiano la Direttiva 2008/98/CE in materia di rifiuti. La Direttiva 2008/98/CE è molto importante per la definizione degli obiettivi di sviluppo imposti al settore di recupero. Essa introduce novità volte a rafforzare i principi di precauzione e prevenzione nella gestione dei rifiuti, e traccia un percorso normativo che pone solide basi per la crescita del settore del trattamento dei rifiuti da costruzione e demolizione destinati al recupero per il settore stradale. I profili di novità contenuti nel testo di recepimento sono molti; per quanto riguarda le novità di nostro interesse essa in grande sintesi:

- *fissa un obiettivo di riciclaggio del 70% per i rifiuti da costruzione e demolizione, da raggiungere nel 2020; tale obiettivo è di fondamentale importanza, tenendo conto delle enormi quantità di rifiuti C&D prodotti;*

- stabilisce una gerarchia, suddivisa in cinque fasi, delle opzioni di gestione dei rifiuti; la seguente gerarchia dei rifiuti sottolinea l'importanza del recupero nella gestione dei rifiuti:
  - a) prevenzione;
  - b) preparazione per il riutilizzo;
  - c) riciclaggio;
  - d) recupero di altro tipo, per esempio di recupero di energia;
  - e) smaltimento.
- Impone di modificare le definizioni di «recupero» e «smaltimento», per garantire una netta distinzione tra questi due concetti, fondata su una vera differenza in termini di impatto ambientale, riconoscendo i potenziali vantaggi per l'ambiente e la salute umana derivanti dall'utilizzo dei rifiuti come risorse.
- *impone di stabilire quando un rifiuto, sottoposto a riciclaggio o ad altro trattamento di recupero, cessa di essere tale (End Of Waste).*

Quest'ultimo punto assume particolare importanza, in quanto sebbene sia ormai consolidato che gli aggregati riciclati garantiscano le medesime caratteristiche prestazionali degli aggregati naturali impiegati nelle opere infrastrutturali, grazie all'introduzione della marcatura CE, l'originaria natura (rifiuto) del materiale in uscita dal processo di recupero, può indurre nell'utilizzatore una sorta di diffidenza; è per questo opportuno e necessario, che si fissino criteri che stabiliscano il momento in cui il rifiuto diviene materiale, al pari di quello naturale.

### **2.9 Marcatura CE - Riferimenti normativi.**

La marcatura CE indica che il prodotto è conforme a tutte le disposizioni comunitarie che prevedono il suo utilizzo: dalla progettazione, alla fabbricazione, all'immissione sul mercato, alla messa in servizio del prodotto fino allo smaltimento. L'importanza dell'introduzione della marcatura CE sta nel fatto che permette realmente di equiparare gli aggregati riciclati a quelli naturali e di poter sostituire gli uni con gli altri indifferentemente. I procedimenti per la marcatura CE degli aggregati riciclati verranno trattati nel dettaglio nel capitolo III; in tale paragrafo ci si propone di riportare l'evoluzione normativa concernente la marcatura CE. La marcatura CE è stata introdotta con la Decisione 93/465/CEE del Consiglio Europeo, del 22 Luglio 1993 al fine di rimuovere le barriere alla libera circolazione dei prodotti all'interno del Mercato

Unico Europeo causate dai diversi sistemi di qualificazione dei prodotti e dei materiali contenuti nelle Legislazioni Nazionali dei vari stati membri; per questo è stato avviato, ed ancora è in corso d'opera, un processo di standardizzazione tecnica i cui capisaldi giuridici sono rappresentati dalla Direttiva 98/34/CE (terza revisione della Direttiva 83/189/CEE) e dalla Decisione 93/465/CEE. La Direttiva 98/34/CE prevede una procedura che obbliga gli Stati Membri a notificare alla commissione Europea e agli Stati Membri, i progetti di regolamentazione relativa ai prodotti prima che questi siano adottati nelle legislazioni nazionali; viene in questo modo garantito il controllo sulla regolamentazione tecnica che potrebbe dare origine a barriere ingiustificate tra i diversi Stati membri. La Decisione 93/465/CEE istituisce invece una serie di procedure di valutazione della conformità dei prodotti e dei processi produttivi ai requisiti essenziali in essa stessa definiti. In particolare, il processo di armonizzazione tecnica su scala comunitaria è effettuato attraverso organismi di standardizzazione tecnica comunitari quali il CEN (Comitato europeo di normazione) e il CENELEC, ai quali è affidato il compito di produrre norme specifiche di prodotto, dette norme armonizzate, su mandato della Commissione Europea. In Italia la marcatura CE degli aggregati è obbligatoria di fatto dal 2007, grazie al DM 11.4.07 *“Applicazione della direttiva n. 89/106/CE sui prodotti da costruzione, relativa alla individuazione dei prodotti e dei relativi metodi di controllo della conformità di aggregati”*. Al fine della marcatura CE di aggregati riciclati ottenuti dal riciclo di materiale da costruzione e demolizione, vengono seguite le stesse norme europee armonizzate utilizzate per la produzione di aggregati naturali. Per la produzione di aggregati riciclati sono però prescritte ulteriori prove da effettuare. È bene ricordare che il Marchio CE non rappresenta un contrassegno di qualità del prodotto, non sta cioè ad indicare l'eccellenza di un prodotto bensì la sua idoneità all'uso per gli scopi per cui è previsto, attestando che il prodotto gode della conformità ad una determinata *specifica tecnica* stabilita da una *norma armonizzata* emessa nel rispetto dei *requisiti essenziali* contenuti nelle direttive Europee. Secondo la Direttiva 89/106, infatti, possono essere immessi sul mercato solo i prodotti da costruzione che permettono alle opere in cui sono incorporati di soddisfare determinati requisiti essenziali; tali requisiti sono i seguenti:

- Resistenza meccanica e stabilità;
- Igiene, salute e ambiente;
- Sicurezza nell'impiego;

- Sicurezza in caso di incendio;
- Risparmio energetico e ritenzione di calore.

In realtà quando si parla di aggregati riciclati assumono importanza i primi tre; ciascuno di essi deve fare inoltre riferimento ad un ulteriore requisito: la “durabilità”, ovvero la permanenza per un ragionevole periodo di tempo di ciascuno dei punti sopra elencati. Con l'introduzione delle Direttive Nuovo Approccio il fabbricante ha la responsabilità di controllare ciascun prodotto che immette sul mercato e verificarne la conformità alla Legislazione UE (procedura di valutazione della conformità). Tale procedura può essere di due tipi:

- basata sul controllo interno della produzione,
- affidata ad un organismo notificato.

Le norme armonizzate europee sulla marcatura CE degli aggregati, naturali o riciclati, di possibile impiego nel settore delle costruzioni, tra le quali quelle stradali sono le seguenti:

- EN 12620 Aggregati per calcestruzzi;
- EN 13242 Aggregati per miscele stradali, legate e non legate;
- EN 13139 Aggregati per malte;
- EN 13043 Aggregati per conglomerati bituminosi;
- EN 13055–1 Aggregati leggeri per calcestruzzi e malte;
- prEN 13055–2 Aggregati leggeri per miscele bituminose, trattamenti superficiali e per applicazioni in strati legati e non legati.

Esse stabiliscono una metodologia di classificazione degli aggregati comune a tutti i paesi della UE in base alla quale è possibile, mediante verifica della costanza del prodotto, apporre il marchio CE. In Italia tali norme sono state recepite nel 2004. Le norme armonizzate emanate a livello europeo vengono infatti in seguito alla loro emanazione recepite dagli Stati Membri attraverso i propri organismi di normazione. Per l'Italia l'organismo di riferimento è l'UNI, Ente Nazionale Italiano di Unificazione, che, oltre a partecipare con propri rappresentanti alle commissioni di elaborazione delle norme armonizzate, traduce e pubblica le norme europee (EN). Le norme in questione, nella loro versione italiana, saranno dunque denominate *UNI EN*. Dal punto di vista del riciclo l'entrata in vigore della nuova normativa Europea e dell'obbligo di marcatura dei

prodotti, segna una svolta, in quanto definisce la classificazione dei materiali da costruzione per opere stradali non più in funzione dell'origine ma in funzione delle prestazioni tecniche che possono offrire, superando la distinzione che veniva effettuata in passato tra aggregati naturali e riciclati. Ciò è sicuramente un bene per gli operatori del campo del riciclaggio di rifiuti da C&D che nel tempo hanno lavorato sulla qualità dei propri aggregati. La possibilità di marcare CE il prodotto senza dubbio nobilita gli aggregati riciclati che, in ottica Europea sono già considerati al pari degli aggregati di origine naturale, a patto che rispondano agli standard definiti nelle norme armonizzate. Si determina inoltre in questo modo un primo reale passaggio da normative e Capitoli puramente prescrittivi a normative con un approccio realmente prestazionale. Come è noto gli aggregati riciclati trovano per lo più impiego nella costruzione e manutenzione di strade, in genere nella forma di miscele non legate. Volendo valutare la possibilità di apporre la marcatura CE sui prodotti destinati a tale fine, bisognerà rifarsi da una parte alla norma armonizzata EN 13242, "Aggregati per miscele non legate e legate idraulicamente per la costruzione di strade e altri lavori di ingegneria civile", dall'altra alla UNI EN 13285 "Miscele non legate"; mentre in generale per le applicazioni si dovranno considerare le prescrizioni nazionali in tema di impiego di aggregati nelle suddette opere, come specificato al capitolo III.

### **2.10 Decreto del Ministero dell'Ambiente n. 161 del 10 Agosto 2012.**

La recentissima pubblicazione del nuovo Decreto del Ministero dell'Ambiente n. 161 del 10 Agosto 2012 sembra avere finalmente messo fine alla dibattuta questione della corretta gestione delle terre e rocce da scavo. Il Decreto stabilisce i criteri affinché i materiali da scavo siano considerati sottoprodotti e non rifiuti. Per molti anni, l'incertezza riguardo le modalità di applicazione delle norme a riguardo ha creato difficoltà allo svolgimento delle attività delle imprese. L'elemento più critico, per quanto concerne la possibilità di riutilizzare questi materiali, è sempre stato rappresentato da una delle condizioni previste dal D.Lgs. 152 / 2006 e successive modifiche, per la qualifica di sottoprodotto: *l'assenza di trasformazioni preliminari*, ovvero la necessità di usare questi materiali tal quale per opere di rimodellamenti, rinterri e rilevati etc. ; restava dubbia quindi la possibilità di lavorarli in cava in ragione del fatto che questa lavorazione si dovesse qualificare, o meno, come trasformazione preliminare.



**Fig.7 – Terre e rocce da scavo.**

Ora, pur lamentando il persistere dell'assenza di una disciplina semplificata per i piccoli cantieri, si registra che, nel rispetto di determinati e rigorosi requisiti, *il materiale di scavo non è un rifiuto, bensì un sottoprodotto, se vengono riportate le seguenti condizioni:*

- il materiale di scavo è generato durante la realizzazione di un'opera, di cui costituisce parte integrante, e il cui scopo primario non è la produzione di tale materiale;
- il materiale di scavo è utilizzato, in conformità al *Piano di Utilizzo*, specificato all'allegato 5, nell'esecuzione dell'opera stessa, o in un'altra opera, per rinterri, riempimenti, rimodellazioni, rilevati, ripascimenti, interventi a mare, miglioramenti fondiari, o viari, ripristini ambientali od anche in processi produttivi in sostituzione dei materiali di cava;
- il materiale di scavo è idoneo ad essere utilizzato direttamente, senza nessun trattamento diverso dalla normale pratica industriale.

Per chiarire quest'ultimo punto l'Allegato 3 del presente Decreto stabilisce nel dettaglio i trattamenti definiti "*di normale pratica industriale*", eliminando finalmente le lacune normative precedentemente emesse; i trattamenti più comunemente effettuati, ai quali può essere sottoposto il materiale da scavo, finalizzati al miglioramento delle sue caratteristiche merceologiche, sono :

- la selezione granulometrica del materiale da scavo;

- la riduzione volumetrica mediante macinazione;
- la stabilizzazione a calce, a cemento o altra forma idoneamente sperimentata per conferire ai materiali da scavo le caratteristiche geotecniche necessarie per il loro utilizzo, concordando preventivamente le modalità di utilizzo in fase di redazione del piano di utilizzo;
- la stesa al suolo per consentire l'asciugatura e la maturazione del materiale da scavo al fine di conferire allo stesso migliori caratteristiche di movimentazione, l'umidità ottimale e favorire l'eventuale biodegradazione naturale degli additivi utilizzati per consentire le operazioni di scavo;
- La riduzione della presenza nel materiale da scavo degli elementi/materiali antropici (es. frammenti di vetroresina, cementiti, bentoniti), eseguita sia a mano che con mezzi meccanici

Il Piano di Utilizzo (trattato all'allegato 5), vero elemento portante di tutta la disciplina, deve essere presentato all'Autorità competente almeno 90 giorni prima dell'inizio dei lavori per la realizzazione dell'opera. L'Autorità competente è l'ente che autorizza la realizzazione dell'opera oppure, per le opere soggette a valutazione ambientale, il Ministero dell'Ambiente o la Regione. Il Piano, in buona sostanza, deve garantire la tracciabilità del materiale, dall'origine alla destinazione finale. Ovvero deve indicare:

- ubicazione dei siti di produzione dei materiali da scavo, con l'indicazione dei volumi suddivisi per tipologie e litologie;
- ubicazione dei siti di utilizzo e i processi industriali di impiego dei materiali da scavo, con l'indicazione dei relativi volumi di utilizzo;
- le operazioni di normale pratica industriale (con riferimento all'allegato 3),
- modalità di esecuzione e risultanze della caratterizzazione ambientale dei materiali da scavo;
- ubicazione di eventuali siti di deposito intermedio in attesa di utilizzo con indicazione dei tempi di deposito;
- individuazione dei percorsi e dei mezzi previsti per il trasporto materiale da scavo tra le diverse aree impiegate nel processo di gestione;

Per quanto riguarda il deposito del materiale escavato in attesa dell'utilizzo, esso deve avvenire all'interno del sito di produzione, dei siti di deposito intermedio e di destinazione, in conformità con il Piano di Utilizzo, e devono essere specificati sito di produzione e quantità del materiale depositate; il periodo di deposito non può avvenire

per un periodo superiore della durata del piano di utilizzo, altrimenti dovranno essere applicate le disposizioni sui rifiuti. Il Piano di Utilizzo ha infatti durata limitata; una volta scaduto viene meno la qualifica di sottoprodotto del materiale da scavo con conseguente obbligo di gestire il materiale come rifiuto e quindi di smaltirlo. Analogamente ogni violazione della puntuale disciplina di legge implica la cessazione della qualificazione del materiale come sottoprodotto. Sempre allo scopo di garantire il pieno monitoraggio del flusso viene introdotta l'importante novità della Dichiarazione di Avvenuto Utilizzo (D.A.U.), che viene richiesta, a chiusura del "sistema", all'utilizzatore finale del materiale. L'omissione della DAU, naturalmente, implica la "ricaduta" nel regime dei rifiuti. Altra novità importante di questo Decreto, è che nel materiale da scavo è ammessa la presenza di materiale inerte di origine antropica (quindi calcestruzzo, mattoni, tegole, calcinacci in genere) come indicato all'allegato 9. Viene introdotta a tal proposito la definizione di riporto, ossia di un orizzonte stratigrafico, di origine umana, che si è formato nel tempo a causa di operazioni di riempimento svolte in passato. In certe zone, specie nelle aree metropolitane, è comune trovare ad alcuni metri di profondità sotto terra e roccia, orizzonti costituiti da laterizi, calcinacci, cocci, provenienti da demolizioni di edifici, mura, e che in passato sono stati utilizzati per riempimento. Questo materiale, con il passare del tempo, ha guadagnato la dignità di orizzonte stratigrafico vero e proprio e pertanto può essere trattato come materiale di scavo. Il Regolamento fissa nel 20% in massa la quantità massima di tale materiale che può essere presente nelle terre e rocce da scavo. Ovviamente la presenza di materiale da riporto dovrà essere dichiarata e comprovata già nel piano di utilizzo e quindi non sarà possibile al riutilizzatore miscelare Terre e rocce vergini con il 20% di macerie. Il decreto introduce per fornire maggiore chiarezza le seguenti definizioni:

*opera*: il risultato di un insieme di lavori di costruzione, demolizione, recupero, ristrutturazione, restauro, manutenzione, che di per sé espliciti una funzione economica o tecnica ai sensi dell'art.3, comma 8, del D.Lgs 12 Aprile, n. 163.

*Materiale da scavo*: il suolo o sottosuolo, con eventuali presenze di riporto, derivanti dalla realizzazione di un opera, quali, a titolo esemplificativo:

- scavi in genere (sbancamento, fondazioni, trincee etc.);
- perforazione, trivellazione, opere infrastrutturali in genere (gallerie, strade, dighe, etc.) ;

- rimozione e livellamento di opere in terra ;
- materiali litoidi e comunque tutte le altre plausibili frazioni granulometriche provenienti da escavazioni;
- residui di lavorazione di materiali lapidei anche connessi alla realizzazione di un'opera ;
- materiale inerte di origine antropica: i materiali di cui all'Allegato 9:

## CAPITOLO 3

# CARATTERISTICHE COGENTI

### 3.1 INTRODUZIONE

Si proporranno di seguito le caratteristiche prestazionali, in termini di resistenza meccanica e di deformazione alle sollecitazioni indotte nonché i fusi granulometrici entro cui devono giacere che le miscele ottenute e studiate devono rispettare per poter essere ammesse quali valide alternative ai materiali vergini che vanno a sostituire, secondo quanto prescritto dalle norme tecniche dei capitolati speciali d'appalto presi come riferimento, redatti da alcuni tra gli enti gestori del patrimonio infrastrutturale nazionale.

I capitolati presi come riferimento rappresentano perciò un quadro completo delle caratteristiche che i campioni di studio devono rispettare per poter essere utilizzati in ambito nazionale.

### 3.2 AUTOSTRADE PER IL BRENNERO S.P.A.

#### 3.2.1 Aggregati lapidei

Nelle prescrizioni tecniche contenute nella seconda parte del capitolato speciale d'appalto redatto da *“Autostrade per il Brennero S.p.a.”* per opere di lavori di ordinaria manutenzione della pavimentazione di conglomerato drenante fonoassorbente speciale sulla autostrada del Brennero per l'anno 2008-2009, al punto 1.3.1.2 si riportano quali sono le norme armonizzate a carattere comunitario che devono rispettare i materiali lapidei da impiegare nei vari stradi del solido stradale.

In particolare, per *“Aggregati per materiali non legati e legati con leganti idraulici per l'impiego in opere di ingegneria civile”* ci si deve attenere a quanto prescritto dalla norma **UNI EN 13242<sup>[13]</sup>**.

### 3.2.2 Fondazione stradale

Le norme tecniche del capitolato speciale d'appalto ammettono tra i materiali utilizzabili per la formazione della fondazione stradale *non* legata come misto granulare, un aggregato lapideo che può essere naturale o riciclato.

I materiali riciclati dalle demolizioni dovranno essere conformi alle seguenti norme, già precedentemente citate in dettaglio:

- Decreto Ministeriale (Ambiente) 8 maggio 2003, n° 203 (Utilizzo di materiale riciclato);
- Decreto Ministeriale 5 febbraio 1998, n° 22 (Procedure di recupero dei rifiuti non pericolosi).

L'impresa che intende proporre materiali lapidei riciclati dovrà presentare lo studio preliminare della miscela che intende utilizzare, con congruo anticipo rispetto all'inizio dei lavori (almeno due settimane prima) e per ogni cantiere di produzione sottostando all'approvazione della Direzione Lavori la quale ha facoltà di richiedere all'Impresa ulteriori analisi sulle miscele e sui materiali.

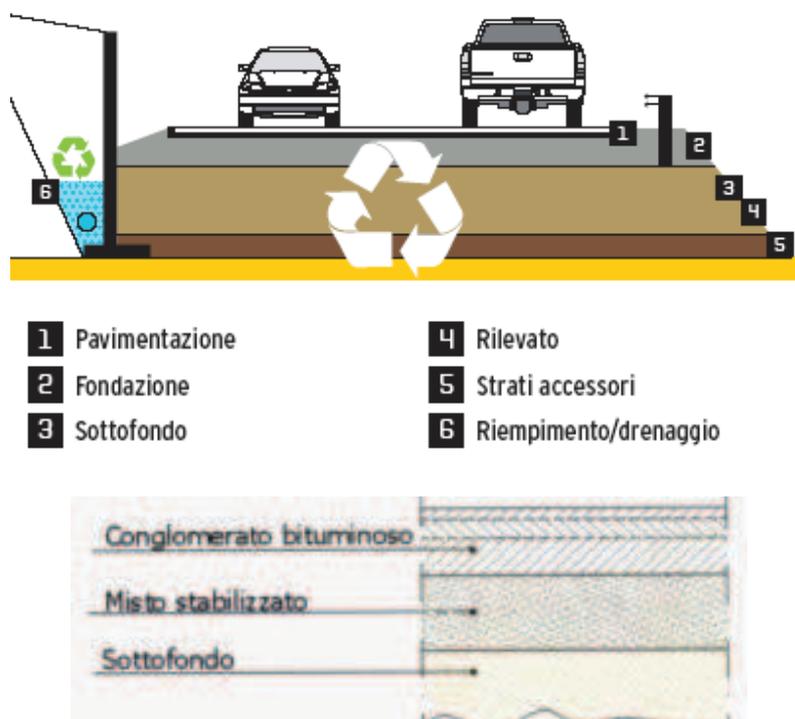


Figura 3. 1: Stratigrafie "tipo" di rilevati stradali.

### 3.2.2.1 Misto granulare non legato

Il misto granulare non legato è costituito da una miscela di aggregati ottenuti mediante trattamento di materiali naturali, artificiali o riciclati.

Il prodotto dovrà essere conforme alla norma **UNI EN 13285** “Miscela non legate - specifiche” e sarà designato secondo la dicitura: MISTO GRANULARE NON LEGATO 0/31,5

Gli aggregati lapidei costituenti il misto granulare dovranno essere conformi alle seguenti prescrizioni:

- UNI EN 932-3 “Procedura e terminologia per la descrizione petrografica semplificata”;
- Direttiva Prodotti da Costruzione 89/106 CEE;
- Allegato ZA della Norma armonizzata UNI EN 13242 “Aggregati per materiali non legati e legati con leganti idraulici per l’impiego in opere di ingegneria civile e nella costruzione di strade”.

In Tabella 3.1 sono riportati i requisiti che gli aggregati dovranno soddisfare .

CARATTERISTICHE DEGLI AGGREGATI (MISCELA PER IL MISTO GRANULARE NON LEGATO)					
REQUISITO	METODO DI PROVA	SIMBOLO	UM	VALORE LIMITE	CATEGORIA (UNI EN 13242)
Dimensione massima	UNI EN 933-1	$D_{max}$	mm	$\leq 40$	-
Requisito di granulometria (per ogni classe utilizzata)	UNI EN 933-1	$G_C$	%	-	$G_{C85-15}$
Resistenza alla frammentazione	UNI EN 1097-2	LA	%	$\leq 30$	LA <sub>30</sub>
Resistenza al gelo/disgelo	UNI EN 1367-1	F	%	$\leq 1$	F <sub>1</sub>
Percentuale di superfici frantumate	UNI EN 933-5	C	%	$\geq 70$	C <sub>70</sub>
Coefficiente di appiattimento	UNI EN 933-3	FI	%	$\leq 35$	FI <sub>35</sub>
Coefficiente di forma	UNI EN 933-4	SI	%	$\leq 35$	SI <sub>35</sub>
Equivalentente in sabbia	UNI EN 933-8	ES	%	$\geq 50$	-
Limite liquido	UNI CEN ISO/TS 17892-12	W <sub>L</sub>	%	$\leq 15$	-
Indice di plasticità	UNI CEN ISO/TS 17892-12	I <sub>p</sub>	%	N.P.	-
Componenti idrosolubili	UNI EN 1744-3			ASSENTI	-
Sostanze organiche	UNI EN 1744-1			ASSENTI	-

Tabella 3. 1: Requisiti degli aggregati lapidei per fondazioni non legate.

### 3.2.2.2 Miscela di aggregati

La miscela degli aggregati impiegati per il confezionamento del misto granulare non legato per lo strato di fondazione dovrà avere le caratteristiche granulometriche conformi ai requisiti definiti in Tabella 3.2:

CARATTERISTICHE DELLA MISCELA (MISCELA PER IL MISTO GRANULARE NON LEGATO)					
REQUISITO	METODO DI PROVA	SIMBOLO	UM	VALORE LIMITE	CATEGORIA (UNI EN 13285)
Designazione della miscela	UNI EN 13285	-	-	0/40	-
Contenuto massimo dei fini	UNI EN 13285	UF	%	≤ 5	UF <sub>5</sub>
Contenuto minimo dei fini	UNI EN 13285	LF	%	≥ 2	LF <sub>2</sub>
Sopravaglio	UNI EN 13285	OC	%	da 85 a 99	OC <sub>85</sub>
Classificazione granulometrica	UNI EN 13285	G <sub>0</sub>	-	-	G <sub>0</sub>

Tabella 3. 2: Caratteristiche della miscela di aggregati lapidei per fondazioni non legate.

La composizione granulometrica, determinata in conformità alla norma UNI EN 13285 utilizzando i setacci appartenenti al gruppo base + 2, dovrà essere compresa nei limiti del fuso riportato nella Tabella 3.3:

Fuso Autostrada Brennero		
Setaccio UNI (mm)	Passante min	Passante max
63	100	100
40	100	100
31,5	85	99
16	50	78
8	31	60
4	18	46
2	10	35
1	6	26
0,5	4	20
0,063	2	5

Tabella 3. 3: Fuso granulometrico del misto granulare.

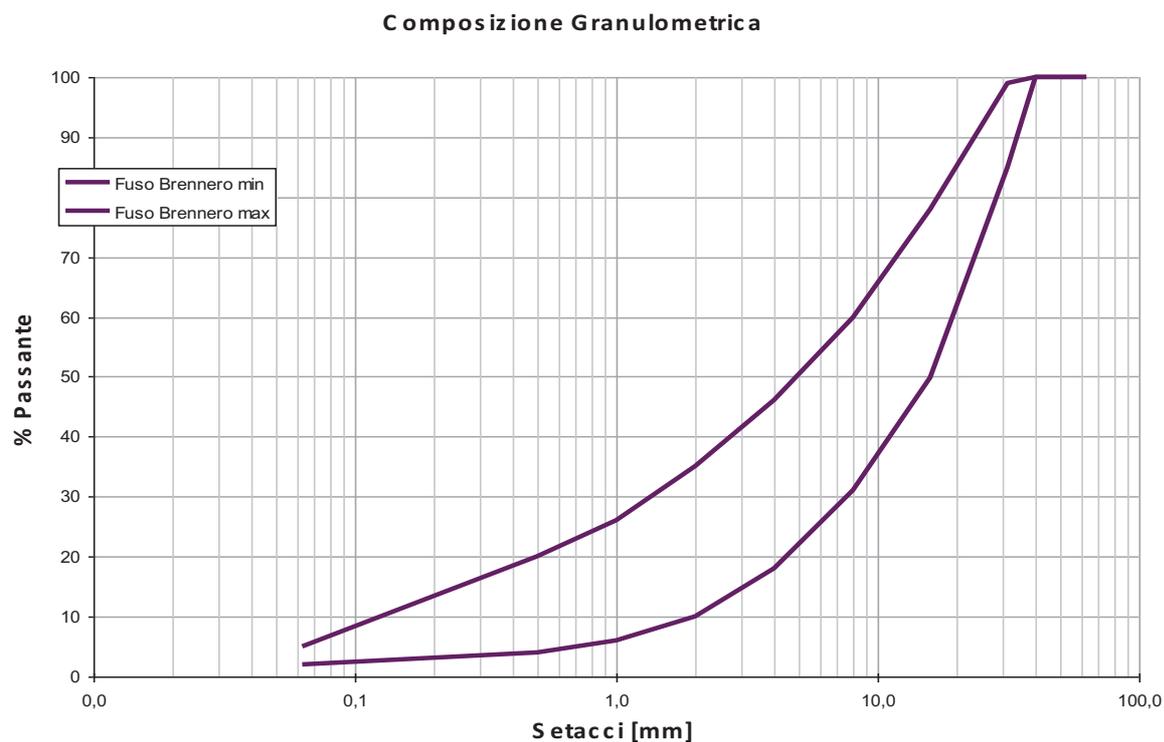


Figura 3. 2: Fuso granulometrico secondo Autostrade per il Brennero S.p.a.

L'Impresa dovrà inoltre effettuare uno studio preliminare sulla miscela che intende utilizzare per la

formazione della fondazione stradale. Tale studio dovrà comprendere la determinazione della curva di costipamento con energia Proctor Modificata (UNI EN 13286-2) e l'indice di portanza CBR in condizioni di saturazione (UNI EN 13286-47).

Lo studio della miscela, la fonte di approvvigionamento e le modalità di produzione dovranno essere documentate e presentate alla Direzione Lavori entro quindici giorni dall'inizio dei lavori per l'approvazione.

L'Indice di portanza CBR sul materiale passante al setaccio 45, dopo 4 giorni di imbibizione in acqua, dovrà essere superiore a 50.

E' inoltre richiesto che tale condizione sia verificata per un intervallo di +2% rispetto all'umidità ottimale di costipamento.

Da capitolato, inoltre, non sono ammesse variazioni sulla composizione ottimale della miscela validata ed accettata dalla Direzione Lavori, eccedenti le tolleranze di  $\pm 5\%$  sull'aggregato

grosso ottenuto dal trattenuto al setaccio 2 mm e  $\pm 2\%$  sull'aggregato fine ottenuto dal passante al setaccio 2 mm e trattenuto al setaccio 0,063 mm.

In fine addensamento e portanza dovranno avere valori riportati in Tabella 3.4.

CARATTERISTICHE DELLO STRATO DI FONDAZIONE (MISCELA PER IL MISTO GRANULARE NON LEGATO)				
REQUISITO	METODO DI PROVA	SIMBOLO	UM	VALORE LIMITE
Densità in situ (rispetto alla densità massima Proctor)	DIN 18125 – UNI EN 13286-2	-	%	> 95
Modulo di deformazione (portanza su piastra con intervallo fra 0,15 e 0,25 MPa)	CNR 146 DIN 18134	$M_E$	MPa	> 80
Modulo di deformazione dinamica (con rapporto $E_{v2} / E_{v1} < 2,15$ )	DIN 18134	$E_{v2}$	MPa	>130

Tabella 3. 4: Caratteristiche dello strato di fondazione.

### 3.2.2.3 Posa in opera

Il materiale misto granulare non legato per l'esecuzione della fondazione stradale dovrà essere messo in opera a strati di spessore uniforme e non superiore a cm 25. Ogni strato dovrà essere costipato alla densità prevista e, qualora necessari, l'Impresa dovrà aggiungere acqua, mediante spruzzatura, fino al raggiungimento della quantità prescritta in funzione del massimo addensamento.

Ogni strato dovrà presentare una superficie superiore conforme alle pendenze finali così da evitare ristagni d'acqua e danneggiamenti. L'Impresa non potrà procedere alla stesa degli strati successivi senza l'approvazione della Direzione Lavori.

Lo spessore dovrà essere quello previsto dal Progettista o dal Direttore Lavori, con una tolleranza di  $\pm 5\%$ , purché tale tolleranza si presenti solo saltuariamente.

Il materiale dovrà essere steso mediante l'utilizzo di grader o vibrofinitrici e costipato con rulli vibranti gommati e/o combinati (cilindri in ferro e gomma).



Figura 3. 3: Motorgrader per stesa e livellazione del misto granulare non legato.

## 3.3 ANAS S.p.a.

### 3.3.1 Tipi di lavorazioni

Le Norme Tecniche del capitolato speciale d'appalto prese a titolo dimostrativo e qui riportate, si riferiscono all'esecuzione di lavori per la sovrastruttura stradale definita nel seguito sinteticamente come pavimentazione; mentre con i materiali descritti si potranno eseguire lavori sostanzialmente di tre tipi diversi:

- Lavori per interventi su pavimentazioni esistenti al fine della ordinaria manutenzione delle medesime, definiti *MO, Manutenzione Ordinaria*.
- Lavori per interventi su pavimentazioni esistenti al fine della loro ricostituzione e/o rafforzamento definiti *MS, Manutenzione Straordinaria*.
- Lavori per pavimentazioni di nuove costruzioni o adeguamenti di strade esistenti, definiti *NC, Nuove Costruzioni*.

La natura dei lavori da eseguire sarà definita nell'Appalto a cui sono annesse le presenti Norme Tecniche<sup>[14]</sup>.

### **3.3.2 Misto granulare stabilizzato per fondazione e/o sottofondazione**

#### **3.3.2.1 Descrizione**

La fondazione in oggetto è costituita da una miscela di terre stabilizzate granulometricamente; la frazione grossa di tale miscela (trattenuta al setaccio UNI 2 mm) può essere costituita da ghiaie, frantumati, detriti di cava, scorie o anche altro materiale ritenuto idoneo dalla DL.

Questa lavorazione si applica per strati di fondazione nelle Manutenzioni Straordinarie (MS) o Nuove Lavorazioni (NC) esclusivamente nei casi di strade di minore rilevanza e può essere impiegata anche per lavori di sottofondazione come ultimo strato del rilevato stradale.

La fondazione potrà essere formata da materiale di apporto idoneo oppure da correggersi con adeguata attrezzatura in impianto fisso di miscelazione.

Lo spessore da assegnare alla fondazione sarà fissato progettualmente e verificato dalla DL

#### **3.3.3 Caratteristiche dei materiali da impiegare**

Il materiale in opera, dopo l'eventuale correzione e miscelazione, risponderà alle caratteristiche seguenti:

- a) l'aggregato non deve avere dimensioni superiori a 63 mm, né forma appiattita, allungata o lenticolare;
- b) granulometria compresa nel seguente fuso e avente andamento continuo ed uniforme praticamente concorde a quello delle curve limite:

ANAS		
Setaccio UNI (mm)	Passante min	Passante max
63	100	100
40	84	100
20	70	92
14	60	85
8	46	72
4	30	56
2	24	44
0,25	8	20
0,063	6	12

Tabella 3. 5: Fuso granulometrico del misto granulare.

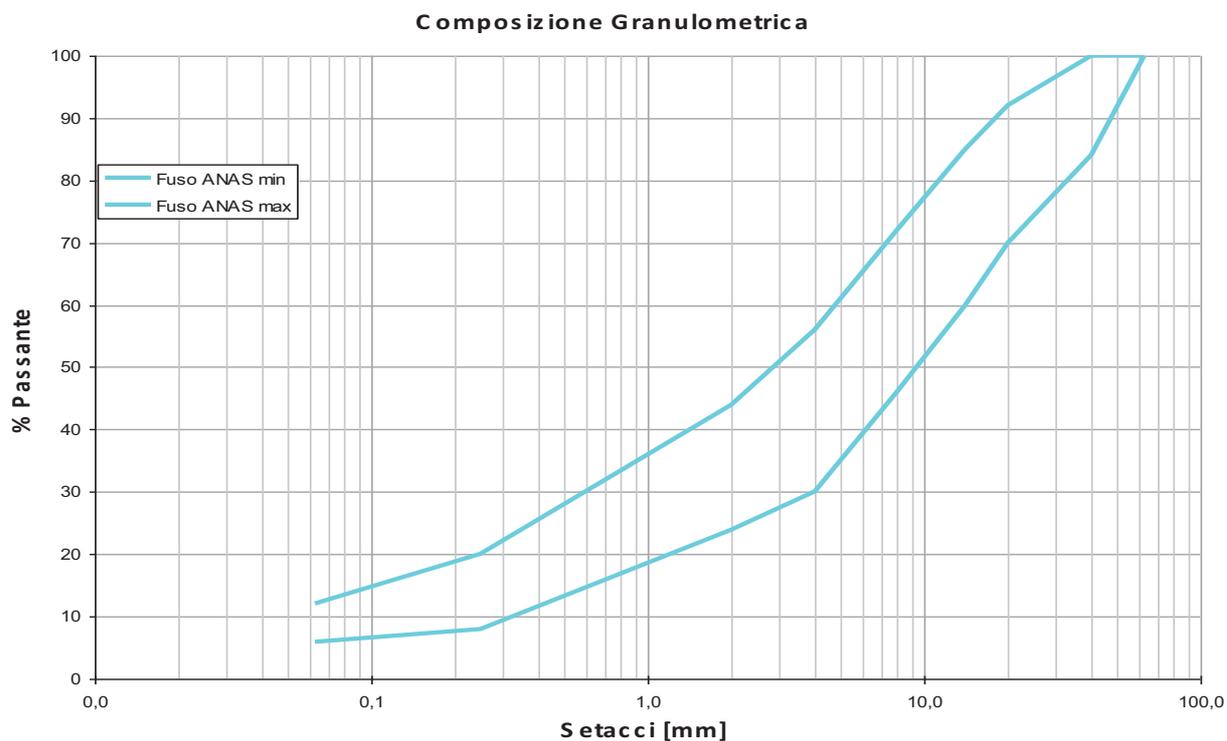


Figura 3. 4: Fuso granulometrico secondo ANAS S.p.a..

- d) perdita in peso alla prova Los Angeles eseguita sulle singole pezzature inferiore al 30% in peso;

- e) equivalente in sabbia misurato sulla frazione passante al setaccio ASTM n. 4; compreso tra 40 e 80 (la prova va eseguita con dispositivo meccanico di scuotimento).

Tale controllo dovrà anche essere eseguito per materiale prelevato dopo costipamento.

Il limite superiore dell'equivalente in sabbia pari a 80 potrà essere modificato dalla DL in funzione delle provenienze e delle caratteristiche del materiale.

Per tutti i materiali aventi equivalente in sabbia compreso tra 40 e 60 la DL richiederà in ogni caso (anche se la miscela contiene più del 60% in peso di elementi frantumati) la verifica dell'indice di portanza CBR di cui al successivo comma.

Indice di portanza C.B.R. (eseguito in conformità da quanto previsto dalla norma CNR-UNI 10009 - Prove sui materiali stradali indice di portanza CBR di una terra) dopo quattro giorni di imbibizione in acqua (eseguito sul materiale passante al crivello UNI 25 mm) non minore di 50.

E' inoltre richiesto che tale condizione sia verificata per un intervallo di + 2% rispetto all'umidità ottima di costipamento.

Se le miscele contengono oltre il 60% in peso di elementi frantumati a spigoli vivi, l'accettazione avverrà sulla base delle sole caratteristiche indicate ai precedenti commi a, b, d, e, salvo nel caso citato al comma e) in cui la miscela abbia equivalente in sabbia compreso tra 25 e 35.

#### **3.3.4 Studio preliminare**

Le caratteristiche suddette dovranno essere accertate dalla DL mediante prove di laboratorio sui campioni che l'Impresa avrà cura di presentare a tempo opportuno per la loro valutazione prima dell'inizio delle lavorazioni.

Contemporaneamente l'Impresa dovrà indicare, per iscritto, le fonti di approvvigionamento, il tipo di lavorazione che intende adottare, il tipo e la consistenza dell'attrezzatura di cantiere che verrà impiegata.

I requisiti di accettazione verranno inoltre accertati con controlli della DL in corso d'opera, prelevando il materiale in sito già miscelato, prima e dopo avere effettuato il costipamento.

### 3.4 CONCESSIONI AUTOSTRADALI VENETE

Le norme tecniche del capitolato speciale d'appalto della succitata azienda sono relative ai lavori di rifacimento del manto di usura drenante fonoassorbente dei raccordi autostradali di Venezia/Mestre e al risanamento delle pavimentazioni della rete autostradale ad essa in concessione[15].

Si riporteranno così come fatto precedentemente, solo i punti di tali capitolati che riguardano il tema oggetto di tesi.

#### 3.4.1 Descrizione materiali di impiego

I materiali da impiegare nei lavori dovranno corrispondere ai requisiti di seguito fissati.

La scelta di un tipo di materiale nei confronti di un altro o tra i diversi tipi dello stesso materiale, sarà fatta, volta per volta, in base a giudizio della Direzione dei Lavori, la quale, per i materiali da acquistare si assicurerà che provengano da produttori di provata capacità e serietà.

a) Acqua :

dovrà essere dolce, limpida, per quanto possibile esente da tracce di cloruri o solfati, non inquinata da materie organiche, o comunque dannose all'uso cui l'acqua medesima è destinata e rispondere ai requisiti stabiliti dalle norme tecniche emanate in applicazione dell'art. 21 della Legge 10816 del 05.11.1971 (D.M. 16.06.1976 e successivi aggiornamenti).

b) Leganti idraulici - Calci aeree - Pozzolana :

dovranno corrispondere alle prescrizioni:

- della legge 26.05.1965 n° 595 “Caratteristiche tecniche e requisiti dei leganti idraulici”;
- D.M. 03.06.1968 che approva le “Nuove norme sui requisiti di accettazione e modalità di prova dei cementi” (G.U. n° 180 del 17.07.1968).
- D.M. 20.11.1984 “Modificazione al D.M. 03.06.1968 recante norme sui requisiti di accettazione e modalità di prova dei cementi” (G.U. n° 353 del 27.12.1984).
- Avviso di rettifica al D.M. 20.11.1984 (G.U. n° 26 del 31.01.1985).

- D.I. 09.03.1988 n° 126 “Regolamento del servizio di controllo e certificazione di qualità dei cementi”.
- delle "Norme per l'accettazione delle calce aeree" R.D. 16.11.1939 n°2231;
- delle "Norme per l'accettazione della pozzolana e dei materiali con comportamento pozzolanico" R.D. 16.11.1939 n°2230;
- di altre eventuali successive norme che dovessero essere state emanate dai competenti Organi.

c) **Aggregati per la costruzione del corpo stradale:**

dovranno soddisfare ai requisiti stabiliti dalla Norma UNI EN 13242:2008 “Aggregati per materiali non legati e legati con leganti idraulici per l'impiego in opere di ingegneria civile e nella costruzione di strade” ed essere rispondenti alle specifiche riportate nelle rispettive norme di esecuzione dei lavori.

#### **3.4.2 Misto granulare non legato per fondazione**

Descrizione:

La fondazione in oggetto è costituita da una miscela di terre stabilizzate granulometricamente; la frazione grossa di tale miscela (trattenuta al setaccio ISO 565 2 mm) può essere costituita da ghiaie, frantumati, detriti di cava, scorie o anche altro materiale ritenuto idoneo dalla D.LL. La fondazione potrà essere formata da materiale di apporto idoneo oppure da correggersi con adeguata attrezzatura in impianto fisso di miscelazione con spessore da assegnare alla fondazione fissato dalla D.LL.

Caratteristiche dei materiali da impiegare:

Il rispetto dei requisiti di accettazione da parte degli aggregati per strati di fondazione legati a legante idraulico dovrà rispondere a quanto previsto dalla marcatura ed etichettatura CE dei prodotti secondo quanto previsto all'appendice ZA della norma UNI EN 13242:2008 e verificato sulla base delle prescrizioni contenute nella suddetta norma.

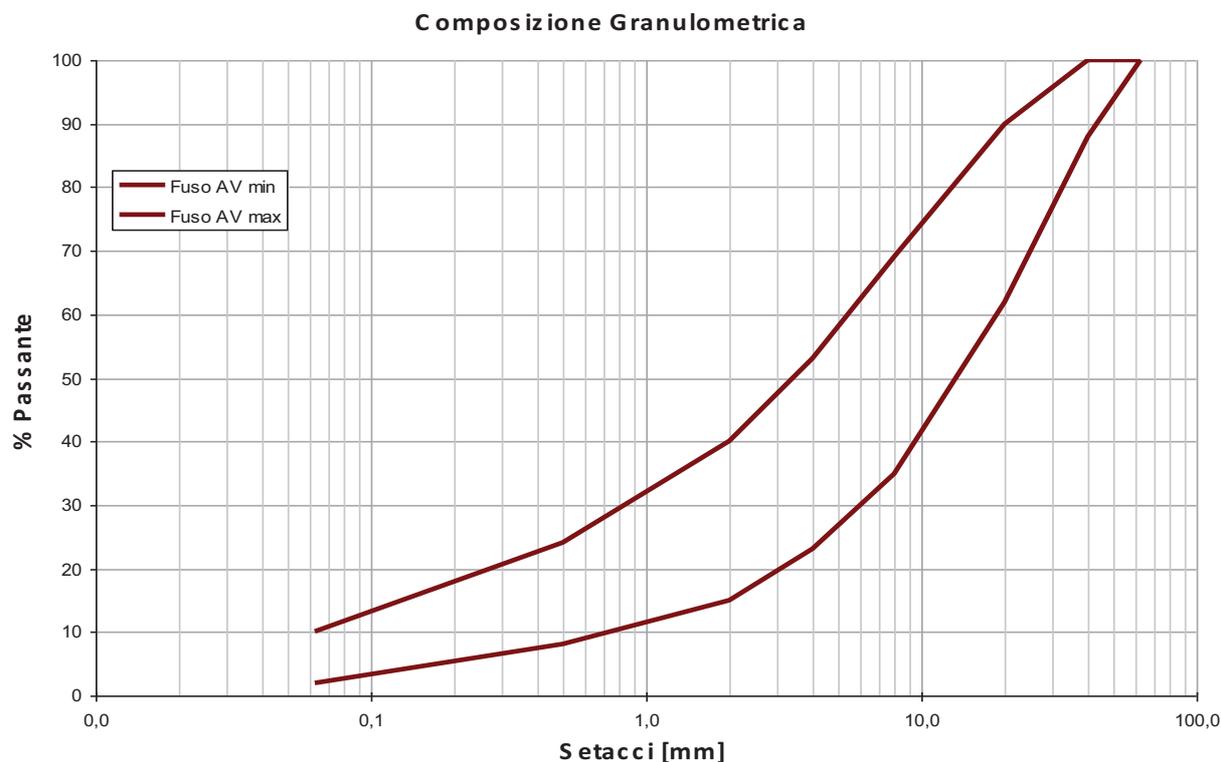
In ogni caso i materiali dovranno essere conformi ai sistemi di attestazione previsti dalla normativa vigente.

Il materiale in opera, dopo l'eventuale correzione e miscelazione, risponderà alle caratteristiche seguenti:

- a) l'aggregato non deve avere dimensioni superiori a 63 mm, né forma appiattita, allungata o lenticolare;
- b) la granulometria deve essere compresa nel seguente fuso e avente andamento continuo ed uniforme praticamente concorde a quello delle curve limite:

<b>Concessioni Autostradali Venete</b>		
<i>Setaccio UNI (mm)</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>
63	100	100
40	88	100
20	62	90
8	35	69
4	23	53
2	15	40
0,5	8	24
0,063	2	10

**Tabella 3. 6:** Fuso granulometrico del misto granulare.



**Figura 3. 5:** Fuso granulometrico secondo Concessioni Autostradali Venete S.p.a.

il rapporto tra il passante al setaccio 0,063 mm ed il passante al setaccio 0,50 mm deve essere inferiore a 2/3;

- c) la perdita in peso alla prova Los Angeles eseguita sulle singole pezzature deve essere inferiore al 30% in peso;
- d) l'equivalente in sabbia eseguito secondo la norma UNI EN 933-8:2000; deve essere compreso tra 25 e 65 (la prova va eseguita con dispositivo meccanico di scuotimento).

Tale controllo dovrà anche essere eseguito per materiale prelevato dopo costipamento.

Il limite superiore dell'equivalente in sabbia pari a 65 potrà essere modificato dalla D.LL. in funzione delle provenienze e delle caratteristiche del materiale.

Per tutti i materiali aventi equivalente in sabbia compreso tra 25 e 35 la D.LL. richiederà in ogni caso (anche se la miscela contiene più del 60% in peso di elementi frantumati) la verifica dell'indice di portanza CBR di cui al successivo comma.

Indice di portanza C.B.R. (UNI EN 13286-47:2006 “Miscele non legate e legate con leganti idraulici: Metodo di prova per la determinazione dell'indice di portanza CBR, dell'indice di portanza immediata e del rigonfiamento” ) dopo quattro giorni di imbibizione in acqua (eseguito sul materiale passante al setaccio 20 mm) non minore di 50.

E' inoltre richiesto che tale condizione sia verificata per un intervallo di + 2% rispetto all'umidità ottima di costipamento.

Se le miscele contengono oltre il 60% in peso di elementi frantumati a spigoli vivi, l'accettazione avverrà sulla base delle sole caratteristiche indicate ai precedenti commi a, b, d, e, salvo nel caso citato al comma e) in cui la miscela abbia equivalente in sabbia compreso tra 25 e 35.

#### Studio preliminare:

Le caratteristiche suddette dovranno essere accertate dalla D.LL. mediante prove di laboratorio sui campioni che l'Impresa avrà cura di presentare a tempo opportuno.

Contemporaneamente l'Impresa dovrà indicare, per iscritto, le fonti di approvvigionamento, il tipo di lavorazione che intende adottare, il tipo e la consistenza dell'attrezzatura di cantiere che verrà impiegata.

I requisiti di accettazione verranno inoltre accertati con controlli della D.LL. in corso d'opera, prelevando il materiale in sito già miscelato, prima e dopo avere effettuato il costipamento.

### **3.5 CAPITOLATI INERENTI MISCELE LEGATE PER SOTTOFONDI E FONDAZIONI**

E' stata effettuata una ricerca sulle richieste dei vari capitolati in merito all' utilizzo di miscele riciclate legate mediante leganti idraulici.

Di seguito vengono riportate tabelle riassuntive delle varie richieste divise per ente richiedente.

### 3.5.1 Capitolato speciale d'appalto provincia di Trento

Capitolato speciale d'appalto provincia di Trento				
MATERIALE		NORM E DI RIF.	COSTITUE NTI	
MISTO GRANULARE RICICLATO LEGATO CON CEMENTO			AGGREGATO MISTO RICICLATO - CB DI RECUPERO	
PRODUZIONE IN IMPIANTO		UNI EN 14227-1	LEGANTE IDRAULICO (cemento)	
Codice	<b>AML-R- CEM</b>	SOVRASTRUTTURA STRADALE: STRATO DI FONDAZIONE		
CARATTERISTICHE DEI MATERIALI COSTITUENTI				
CARATTERISTICHE DEL MATERIALE				
	NORMA	SIMB.	UM	LIMITI
REQUISITO				
Conformità alla Direttiva Prodotti da Costruzione (Marcatura CE)	UNI EN 13242 - All. ZA	CE	liv. att.	2+
Dimensione dell'aggregato (designazione)	UNI EN 933-1	d/D	mm	valore dichiarato
Requisito di granulometria (per ogni classe utilizzata)	UNI EN 933-1	G <sub>C</sub>	%	-
Dimensione massima dell'aggregato	UNI EN 933-1	D <sub>max</sub>	mm	40
Composizione granulometrica	UNI EN 933-1	-	%	valore dichiarato
Indice appiattimento dell'aggregato grosso	UNI EN 933-3	FI	%	≤ 35
Indice di forma dell'aggregato grosso	UNI EN 933-4	SI	%	≤ 40
Massa volumica delle particelle	UNI EN 1097-6	MV	Mg/m <sup>3</sup>	da 2 a 3
Percentuale di particelle rotte frantumate	UNI EN 933-5	C	%	valore dichiarato
REQUISITI AGGREGATO FINE				
Contenuto di rocce tenere, alterate o scistose	CNR BU 104/84		%	-
Contenuto di rocce degradabili, solfatiche o reagenti con alcali del cemento	CNR BU 104/84		%	-
Equivalentente in sabbia	UNI EN 933-8	SE	%	> 30
Indice Plasticità	UNI CEN ISO/TS 17892-12	I <sub>p</sub>	%	-
Limite Liquido	UNI CEN ISO/TS 17892-12	w <sub>L</sub>	%	-
Contenuto di fini	UNI EN 933-1	f	%	≤ 10

### Capitolo 3: Caratteristiche cogenti

Valore di blu	UNI EN 933-9	MB	-	≤ 10
<b>REQUISITI AGGREGATO GROSSO</b>				
Rocce tenere, alterate o scistose	CNR BU 104/84	-	%	-
Rocce degradabili, solfatiche o reagenti con alcali del cemento	CNR BU 104/84	-	%	-
<b>REQUISITI FISICI</b>				
Classificazione dei costituenti di aggregati grossi riciclati	UNI EN 933-11	-	% cm <sup>3</sup> /kg	NPD
Resistenza alla frammentazione dell'aggregato grosso	UNI EN 1097-2	LA	%	≤ 30
Assorbimento di acqua	UNI EN 1097-6	WA	%	valore dichiarato
Resistenza all'usura dell'aggregato grosso (Micro Deval)	UNI EN 1097-1	MDE	%	≤ 30
<b>REQUISITI CHIMICI</b>				
Solfato solubile in acido	UNI EN 1744-1	AS	%	≤ 0,8
Solfato solubile in acqua	UNI EN 1744-1	SS	%	NPD
Zolfo totale	UNI EN 1744-1	S	%	≤ 1
Componenti che alterano la velocità di presa	UNI EN 1744-1	-	-	assente
Componenti che alterano la stabilità di volume delle scorie	UNI EN 1744-1	V	%	≤ 5
<b>DURABILITA'</b>				
"Sonnenbrand" del basalto	UNI EN 1367-3;1097-2	SB	%	NPD
Resistenza al gelo/disgelo	UNI EN 1367-1	F	%	≤ 2
<b>COMPONENTI AGGREGATO</b>				
Materiali litici di qualunque provenienza, pietrisco tolto d'opera, calcestruzzi, laterizi, refrattari, ceramici, malte, intonaci, scorie e loppe	Separazione al setaccio 8 mm (UNI EN 13285/2004)	-	%	-
Vetro e scorie vetrose		-	%	-
Conglomerati bituminosi		-	%	-
Altri rifiuti minerali dei quali sia ammesso il recupero nel corpo stradale ai sensi della legislazione vigente.		-	%	-
Materiali deperibili: carta, legno, fibre, cellulosa, sostanze organiche eccetto bitume; materiali plastici		-	%	-
Altri materiali (metalli, gesso, gomme, etc.)		-	%	-
Componenti idrosolubili		-	-	%
<b>CB DI RECUPERO</b>				
Dimensione massima degli aggregati del fresato	UNI EN 933-1	Dmax	mm	40
Composizione granulometrica	UNI EN 933-1	-	%	valore dichiarato

### Capitolo 3: Caratteristiche cogenti

Contenuto di legante estratto	UNI EN 12697-11	B	%	valore dichiarato		
<b>CEMENTO</b>						
Conformità alla Direttiva Prodotti da Costruzione (Marcatura CE)	UNI EN 197-1	CE	liv. att.	1+		
Composizione, specificazioni e criteri di conformità.	UNI EN 13282	N	MPa	≥ 22,5		
Additivi						
Ceneri volanti						
<b>COMPOSIZIONE MISCELA</b>						
Composizione granulometrica	UNI EN 933-1	SETACCIO (mm)	%	LIMITI (passante%)		
					min	max
				40	100	100
				31,5	85	100
				25	75	100
				20	65	94
				10	44	78
				4	26	61
				2	18	50
				0,5	8	30
				0,25	6	22
0,063	3	11				
Contenuto di acqua (riferito alla miscela secca)	UNI EN 13286	-	%	valore dichiarato		
Contenuto di legante idraulico (riferito alla miscela secca)	UNI EN 197-1	-	%	>3		
Contenuto aggregati riciclati	-	-	%	valore dichiarato		
Contenuto di CB di recupero	-	-	%	valore dichiarato		
<b>CARATTERISTICHE DI RESISTENZA</b>						
Curva di costipamento Proctor modificata	UNI EN 13286-2	-	% g/cm <sup>3</sup>	Valore dichiarato		
Resistenza a compressione a 7 giorni	UNI EN 13286-41	Rc	MPa	da 2,0 a 3,5		
Resistenza a compressione a 28 giorni	UNI EN 13286-41	Rc	MPa	da 2,5 a 5,0		
Resistenza a trazione indiretta a 7 giorni	UNI EN 13286-42	Rit	MPa	da 0,2 a 0,35		
Resistenza a trazione indiretta a 28 giorni	UNI EN 13286-42	Rit	MPa	da 0,25 a 0,50		
<b>CARATTERISTICHE DELLO STRATO</b>						
Modulo di deformazione	CNR 146	MD	MPa	> 150		

### Capitolo 3: Caratteristiche cogenti

Modulo elastico equivalente ( F.W.D. )	ASTM D 4694/96	E (a 7gg)	-	-
		E (a 60gg)		
Densità in situ (rispetto alla densità massima Proctor)	UNI EN 13286-2	-	%	> 95
temperatura minima del fondo	-	T	°C	4
Spessore dello strato	-	S	cm	≥ S progetto
Regolarità dei piani con regolo da 4 m (scostamento)	-	-	mm	-
Light Falling Weight Deflectometer	-	4 ore	MPa	-
	-	1 gg	MPa	-

3.5.2 Capitolato speciale d'appalto regione Toscana

<b>Capitolato speciale d'appalto regione Toscana 2006</b>										
<b>MATERIALE</b>				<b>NORME DI RIF.</b>		<b>COSTITUENTI</b>				
MISTO GRANULARE RICICLATO LEGATO CON CEMENTO						AGGREGATO MISTO RICICLATO - CB DI RECUPERO				
-				UNI EN 14227-1		LEGANTE IDRAULICO (cemento)				
Codice		-		SOVRASTRUTTURA STRADALE: STRATO DI FONDAZIONE						
<b>CARATTERISTICHE DEI MATERIALI COSTITUENTI</b>				<b>CARATTERISTICHE DEL MATERIALE</b>						
				<b>NORMA</b>	<b>SIMB.</b>	<b>UM</b>	<b>LIMITI</b>			
<b>REQUISITO</b>						Livello di traffico	PP	P	M	L
Conformità alla Direttiva Prodotti da Costruzione (Marcatura CE)				UNI EN 13242 - All. ZA	CE	liv. att.	-	-	-	-
Dimensione dell'aggregato (designazione)				UNI EN 933-1	d/D	mm	-	-	-	-
Requisito di granulometria (per ogni classe utilizzata)				UNI EN 933-1	G <sub>c</sub>	%	-	-	-	-
Dimensione massima dell'aggregato				UNI EN 933-1	D <sub>max</sub>	mm	31,5	31,5	31,5	31,5
Composizione granulometrica				UNI EN 933-1	-	%	-	-	-	-
Indice appiattimento dell'aggregato grosso				UNI EN 933-3	FI	%	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≤ 35
Indice di forma dell'aggregato grosso				UNI EN 933-4	SI	%	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≤ 35
Massa volumica delle particelle				UNI EN 1097-6	MV	Mg/m <sup>3</sup>	-	-	-	-
Percentuale di particelle rotte frantumate				UNI EN 933-5	C	%	-	-	-	-
<b>REQUISITI AGGREGATO FINE</b>										
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
Equivalentente in sabbia				CNR B.U. 27/72		%	≥ 30	≥ 30	≥ 30	≥ 30
Indice Plasticità				CNR UNI 10014	Ip	%	N.P.	N.P.	N.P.	≤ 6
Limite Liquido				CNR UNI 10014	wL	%	≤ 25	≤ 25	≤ 25	≤ 25
Contenuto di fini				UNI EN 933-1	f	%	-	-	-	-
Valore di blu				UNI EN 933-9	MB	-	-	-	-	-
<b>REQUISITI AGGREGATO GROSSO</b>										

### Capitolo 3: Caratteristiche cogenti

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
<b>REQUISITI FISICI</b>							
Classificazione dei costituenti di aggregati grossi riciclati	UNI EN 933-11	-	% cm <sup>3</sup> /kg	-	-	-	-
Resistenza alla frammentazione dell'aggregato grosso	UNI EN 1097-2	LA	%	≤ 30	≤ 30	≤ 35	≤ 40
Assorbimento di acqua	UNI EN 1097-6	WA	%	-	-	-	-
Resistenza all'usura dell'aggregato grosso (Micro Deval)	UNI EN 1097-1	MDE	%	-	-	-	-
<b>REQUISITI CHIMICI</b>							
Solfato solubile in acido	UNI EN 1744-1	AS	%	≤ 0,5			
Solfato solubile in acqua	UNI EN 1744-1	SS	%	NPD			
Zolfo totale	UNI EN 1744-1	S	%	≤ 1			
Componenti che alterano la velocità di presa	UNI EN 1744-1	-	-	assente			
Componenti che alterano la stabilità di volume delle scorie	UNI EN 1744-1	V	%	≤ 5			
<b>DURABILITA'</b>							
"Sonnenbrand" del basalto	UNI EN 1367-3;1097-2	SB	%	-	-	-	-
Resistenza al gelo/disgelo	UNI EN 1367-1	F	%	≤ 30	≤ 30	≤ 30	≤ 30
<b>COMPONENTI AGGREGATO</b>							
Materiali litici di qualunque provenienza, pietrisco tolto d'opera, calcestruzzi, laterizi, refrattari, ceramici, malte, intonaci, scorie e loppe	Separazione al setaccio 8 mm (UNI EN 13285/2004)	-	%	> 90			
Vetro e scorie vetrose		-	%	≤ 5			
Conglomerati bituminosi		-	%	≤ 5			
Altri rifiuti minerali dei quali sia ammesso il recupero nel corpo stradale ai sensi della legislazione vigente.		-	%	≤ 5 (singolo)			
Materiali deperibili: carta, legno, fibre, cellulosa, sostanze organiche eccetto bitume; materiali plastici		-	%	≤ 0,1			
Altri materiali (metalli, gesso, gomme, etc.)		-	%	≤ 0,4			
Componenti idrosolubili	-	-	%	-	-	-	-
<b>CB DI RECUPERO</b>							
Dimensione massima degli aggregati del fresato	UNI EN 933-1	Dmax	mm	-	-	-	-
Composizione granulometrica	UNI EN 933-1	-	%	-	-	-	-
Contenuto di legante estratto	UNI EN 12697-11	B	%	-	-	-	-
<b>CEMENTO</b>							
Conformità alla Direttiva Prodotti da Costruzione (Marcatura CE)	UNI EN 197-1	CE	liv. att.	-	-	-	-
Composizione, specificazioni e criteri di conformità.	UNI EN 13282	N	MPa	-	-	-	-
Additivi							
Ceneri volanti							
<b>COMPOSIZIONE MISCELA</b>							

### Capitolo 3: Caratteristiche cogenti

	UNI EN 933-1	SETACCIO (mm)	%	LIMITI (passante%)			
				min	max		
Composizione granulometrica		-		-	-		
		31,5		100	100		
		20		70	100		
		14		55	78		
		10		45	65		
		4		28	42		
		2		18	30		
		0,5		8	18		
		0,125		5	13		
		0,063		2	10		
Contenuto di acqua (riferito alla miscela secca)	UNI EN 13286	-	%	valore dichiarato $\pm 2$			
Contenuto di legante idraulico (riferito alla miscela secca)	UNI EN 197-1	conforme	%	stabilito tramite B.U. CNR n. 29/72			
Contenuto aggregati riciclati	-	-	%	valore dichiarato			
Contenuto di CB di recupero	-	-	%	valore dichiarato			
<b>CARATTERISTICHE DI RESISTENZA</b>							
Curva di costipamento Proctor modificata	-	-	-	-			
Resistenza a compressione a 7 giorni	CNR B.U. n. 29/72	Rc	MPa	da 2,5 a 4,5			
Resistenza a compressione a 28 giorni	-	-	-	-			
Resistenza a trazione indiretta a 7 giorni	CNR B.U. n. 97/84	Rt	MPa	$\geq 25$			
Resistenza a trazione indiretta a 28 giorni	-	-	-	-			
<b>CARATTERISTICHE DELLO STRATO</b>							
Modulo di deformazione	CNR 146	MD	MPa	$\geq 150$	$\geq 150$	$\geq 120$	$\geq 120$
	prova con piastra tra 3 e 12 ore dalla compattazione			o prestazione prevista in progetto			
Modulo elastico equivalente ( F.W.D. )	ASTM D 4694/96	E (a 7gg)	Mpa	$\geq 2000$	$\geq 1600$	$\geq 1300$	$\geq 1000$
		E (a 60gg)	Mpa	$\geq 3000$	$\geq 2500$	$\geq 2000$	$\geq 1500$
Densità in situ (rispetto alla densità massima Proctor)	UNI EN 13286-2	-	%	$\geq 98$	$\geq 98$	$\geq 98$	$\geq 98$
temperatura minima del fondo	-	T	°C	-			
Spessore dello strato	-	S	cm	$\geq S$ progetto			
Regolarità dei piani con regolo da 4 m (scostamento)	-	-	mm	$< 10$			
Light Falling Weight Deflectometer	-	4 ore	MPa	-	-	-	-
	-	1 gg	MPa	-	-	-	-

### 3.5.3 Capitolato speciale d'appalto ANAS 2008

Capitolato speciale d'appalto ANAS 2008				
MATERIALE		NORME DI RIF.		COSTITUENTI
MISTO GRANULARE RICICLATO LEGATO CON CEMENTO				AGGREGATO MISTO RICICLATO - CB DI RECUPERO
		UNI EN 14227-1		LEGANTE IDRAULICO (cemento)
Codice	- SOVRASTRUTTURA STRADALE: STRATO DI FONDAZIONE			
CARATTERISTICHE DEI MATERIALI COSTITUENTI				
CARATTERISTICHE DEL MATERIALE				
REQUISITO				
NORMA	SIMB.	UM	LIMITI	
Conformità alla Direttiva Prodotti da Costruzione (Marcatura CE)	UNI EN 13242 - All. ZA	CE	liv. att.	-
Dimensione dell'aggregato (designazione)	UNI EN 933-1	d/D	mm	-
Requisito di granulometria (per ogni classe utilizzata)	UNI EN 933-1	G <sub>c</sub>	%	-
Dimensione massima dell'aggregato	UNI EN 933-1	D <sub>max</sub>	mm	-
Composizione granulometrica	UNI EN 933-1	-	%	-
Indice appiattimento dell'aggregato grosso	UNI EN 933-3	FI	%	-
Indice di forma dell'aggregato grosso	UNI EN 933-4	SI	%	-
Massa volumica delle particelle	UNI EN 1097-6	MV	Mg/m <sup>3</sup>	-
Percentuale di particelle rotte frantumate	UNI EN 933-5	C	%	-
REQUISITI AGGREGATO FINE				
Contenuto di rocce tenere, alterate o scistose	CNR BU 104/84		%	-
Contenuto di rocce degradabili, solfatiche o reagenti con alcali del cemento	CNR BU 104/84		%	-
Equivalentente in sabbia	UNI EN 933-8	SE	%	da 30 a 70
Indice Plasticità	CNR UNI 10014	I <sub>p</sub>	%	N.P.
Limite Liquido	CNR UNI 10014	w <sub>L</sub>	%	-
Contenuto di fini	UNI EN 933-1	f	%	-

### Capitolo 3: Caratteristiche cogenti

Valore di blu	UNI EN 933-9	MB	-	-
<b>REQUISITI AGGREGATO GROSSO</b>				
Rocce tenere, alterate o scistose	CNR BU 104/84	-	%	-
Rocce degradabili, solfatiche o reagenti con alcali del cemento	CNR BU 104/84	-	%	-
<b>REQUISITI FISICI</b>				
Classificazione dei costituenti di aggregati grossi riciclati	UNI EN 933-11	-	% cm <sup>3</sup> /kg	-
Resistenza alla frammentazione dell'aggregato grosso	UNI EN 1097-2	LA	%	≤ 28
Assorbimento di acqua	UNI EN 1097-6	WA	%	-
Resistenza all'usura dell'aggregato grosso (Micro Deval)	UNI EN 1097-1	MDE	%	-
<b>REQUISITI CHIMICI</b>				
Solfato solubile in acido	UNI EN 1744-1	AS	%	-
Solfato solubile in acqua	UNI EN 1744-1	SS	%	-
Zolfo totale	UNI EN 1744-1	S	%	-
Componenti che alterano la velocità di presa	UNI EN 1744-1	-	-	-
Componenti che alterano la stabilità di volume delle scorie	UNI EN 1744-1	V	%	-
<b>DURABILITA'</b>				
"Sonnenbrand" del basalto	UNI EN 1367-3;1097-2	SB	%	-
Resistenza al gelo/disgelo	UNI EN 1367-1	F	%	-
<b>COMPONENTI AGGREGATO</b>				
Materiali litici di qualunque provenienza, pietrisco tolto d'opera, calcestruzzi, laterizi, refrattari, ceramici, malte, intonaci, scorie e loppe	Separazione al setaccio 8 mm (UNI EN 13285/2004)	-	%	-
Vetro e scorie vetrose		-	%	-
Conglomerati bituminosi		-	%	-
Altri rifiuti minerali dei quali sia ammesso il recupero nel corpo stradale ai sensi della legislazione vigente.		-	%	-
Materiali deperibili: carta, legno, fibre, cellulosa, sostanze organiche eccetto bitume; materiali plastici		-	%	-
Altri materiali (metalli, gesso, gomme, etc.)		-	%	-
Componenti idrosolubili		-	-	%
<b>CB DI RECUPERO</b>				
Dimensione massima degli aggregati del fresato	UNI EN 933-1	Dmax	mm	-
Composizione granulometrica	UNI EN 933-1	-	%	-

### Capitolo 3: Caratteristiche cogenti

Contenuto di legante estratto	UNI EN 12697-11	B	%	-		
<b>CEMENTO</b>				325		
Conformità alla Direttiva Prodotti da Costruzione (Marcatura CE)	UNI EN 197-1	CE	liv. att.	-		
Composizione, specificazioni e criteri di conformità.	UNI EN 13282	N	MPa	≥ 32,5		
Additivi						
Ceneri volanti						
<b>COMPOSIZIONE MISCELA</b>						
Composizione granulometrica	UNI EN 933-1	SETACCI O (mm)	%	LIMITI (passante%)		
				min	max	
				40	100	100
				31,5	90	100
				20	70	90
				14	58	78
				8	43	61
				4	28	44
				2	18	32
				0,5	9	20
				0,125	6	13
0,063	5	10				
Contenuto di acqua (riferito alla miscela secca)	UNI EN 13286	-	%	valore dichiarato		
Contenuto di legante idraulico (riferito alla miscela secca)	UNI EN 197-1	-	%	da 2,5 a 4,5		
Contenuto aggregati riciclati	-	-	%	valore dichiarato		
Contenuto di CB di recupero	-	-	%	valore dichiarato		
<b>CARATTERISTICHE DI RESISTENZA</b>						
Curva di costipamento Proctor modificata	-	-	-	-		
Resistenza a compressione a 3 giorni	UNI EN 13286-41	Rc	MPa	da 1,4 a 3,6		
Resistenza a compressione a 7 giorni	UNI EN 13286-41	Rc	MPa	da 2,5 a 5,5		
Resistenza a trazione indiretta a 3 giorni	UNI EN 13286-42	Rit	MPa	da 0,3 a 0,50		
Resistenza a trazione indiretta a 7 giorni	UNI EN 13286-42	Rit	MPa	da 0,32 a 0,60		
<b>CARATTERISTICHE DELLO STRATO</b>						
Modulo di deformazione	CNR 146	MD	MPa	-		

### Capitolo 3: Caratteristiche cogenti

	prova con piastra tra 3 e 12 ore dalla compattazione			-
Modulo elastico equivalente ( F.W.D. )	ASTM D 4694/96	E (a 7gg)	Mpa	-
		E (a 60gg)	Mpa	-
Densità in situ (rispetto alla densità massima Proctor)	UNI EN 13286-2	-	%	-
temperatura minima del fondo	-	T	°C	-
Spessore dello strato	-	S	cm	da 15 a 25
Regolarità dei piani con regolo da 4 m (scostamento)	-	-	mm	-
Light Falling Weight Deflectometer		4 ore	MPa	60
		1 gg	MPa	250

### 3.5.4 Capitolato speciale d'appalto Autostrade per il Brennero

<b>Capitolato speciale d'appalto Autostrade per il Brennero S.P.A. 2008/2009</b>					
<b>MATERIALE</b>		<b>NORM E DI RIF.</b>	<b>COSTITUEN TI</b>		
MISTO GRANULARE LEGATO CON CEMENTO 0/31,5			AGGREGATO MISTO RICICLATO		
-		UNI EN 13242 UNI EN 14227-1	LEGANTE IDRAULICO (cemento)		
Codice	-		SOVRASTRUTTURA STRADALE: STRATO DI FONDAZIONE		
<b>CARATTERISTICHE DEI MATERIALI COSTITUENTI</b>					
<b>CARATTERISTICHE DEL MATERIALE</b>					
<b>REQUISITO</b>					
		<b>NORMA</b>	<b>SIMB.</b>	<b>UM</b>	<b>LIMITI</b>
<b>REQUISITO</b>					
Conformità alla Direttiva Prodotti da Costruzione (Marcatura CE)		UNI EN 13242 - All. ZA	CE	liv. att.	-
Dimensione dell'aggregato (designazione)		UNI EN 933-1	d/D	mm	-
Requisito di granulometria (per ogni classe utilizzata)		UNI EN 933-1	G <sub>c</sub>	%	G <sub>c</sub> 85-15
Dimensione massima dell'aggregato		UNI EN 933-1	D <sub>max</sub>	mm	≤ 40
Composizione granulometrica		UNI EN 933-1	-	%	-
Indice appiattimento dell'aggregato grosso		UNI EN 933-3	FI	%	≤ 35
Indice di forma dell'aggregato grosso		UNI EN 933-4	SI	%	≤ 35
Massa volumica delle particelle		UNI EN 1097-6	MV	Mg/m <sup>3</sup>	-
Percentuale di particelle rotte frantumate		UNI EN 933-5	C	%	≥ 70
<b>REQUISITI AGGREGATO FINE</b>					
Contenuto di rocce tenere, alterate o scistose		CNR BU 104/84		%	-
Contenuto di rocce degradabili, solfatiche o reagenti con alcali del cemento		CNR BU 104/84		%	-
Equivalentente in sabbia		UNI EN 933-8	ES	%	≥ 60
Indice Plasticità		UNI CEN ISO/TS 17892-12	Ip	%	N.P.
Limite Liquido			wL	%	≤ 25

### Capitolo 3: Caratteristiche cogenti

Contenuto di fini	UNI EN 933-1	f	%	-
Valore di blu	UNI EN 933-9	MB	-	-
<b>REQUISITI AGGREGATO GROSSO</b>				
Rocce tenere, alterate o scistose	CNR BU 104/84	-	%	-
Rocce degradabili, solfatiche o reagenti con alcali del cemento	CNR BU 104/84	-	%	-
<b>REQUISITI FISICI</b>				
Classificazione dei costituenti di aggregati grossi riciclati	-	-	-	-
Resistenza alla frammentazione dell'aggregato grosso	UNI EN 1097-2	LA	%	≤ 30
Assorbimento di acqua	UNI EN 1097-6	WA	%	-
Resistenza all'usura dell'aggregato grosso (Micro Deval)	UNI EN 1097-1	MDE	%	-
<b>REQUISITI CHIMICI</b>				
Solfato solubile in acido	UNI EN 1744-1	AS	%	-
Solfato solubile in acqua	UNI EN 1744-1	SS	%	-
Zolfo totale	UNI EN 1744-1	S	%	-
Componenti che alterano la velocità di presa	UNI EN 1744-1	-	-	-
Componenti che alterano la stabilità di volume delle scorie	UNI EN 1744-1	V	%	-
<b>DURABILITA'</b>				
"Sonnenbrand" del basalto	UNI EN 1367-3;1097-2	SB	%	-
Resistenza al gelo/disgelo	UNI EN 1367-1	F	%	≤1
<b>COMPONENTI AGGREGATO</b>				
Materiali litici di qualunque provenienza, pietrisco tolto d'opera, calcestruzzi, laterizi, refrattari, ceramici, malte, intonaci, scorie e loppe	Separazione al setaccio 8 mm (UNI EN 13285/2004)	-	%	-
Vetro e scorie vetrose		-	%	-
Conglomerati bituminosi		-	%	-
Altri rifiuti minerali dei quali sia ammesso il recupero nel corpo stradale ai sensi della legislazione vigente.		-	%	-
Materiali deperibili: carta, legno, fibre, cellulosa, sostanze organiche eccetto bitume; materiali plastici		-	%	assenti
Altri materiali (metalli, gesso, gomme, etc.)		-	%	-
Componenti idrosolubili		-	-	%
<b>CB DI RECUPERO</b>				
Dimensione massima degli aggregati del fresato	UNI EN 933-1	Dmax	mm	-

### Capitolo 3: Caratteristiche cogenti

Composizione granulometrica	UNI EN 933-1	-	%	-	
Contenuto di legante estratto	UNI EN 12697-11	B	%	-	
<b>CEMENTO</b>				-	
Conformità alla Direttiva Prodotti da Costruzione (Marcatura CE)	UNI EN 197-1 UNI EN 197-2	CE	liv. att.	a1	
Composizione, specificazioni e criteri di conformità.	UNI EN 13282	N	MPa	-	
Additivi	UNI EN 934-2			conforme	
Ceneri volanti	UNI EN 450.			conforme	
<b>COMPOSIZIONE MISCELA</b>					
Composizione granulometrica	UNI EN 933-1	SETACCI O (mm)	%	LIMITI (passante%)	
				min	max
		40		100	100
		31,5		85	100
		25		75	100
		20		65	94
		10		44	78
		4		26	61
		2		18	50
		0,5		8	30
		0,25		6	22
		0,063		3	11
Contenuto di acqua (riferito alla miscela secca)	UNI EN 13286	-	%	-	
Contenuto di legante idraulico (riferito alla miscela secca)	UNI EN 197-1	-	%	-	
Contenuto aggregati riciclati	-	-	%	valore dichiarato	
Contenuto di CB di recupero	-	-	%	valore dichiarato	
<b>CARATTERISTICHE DI RESISTENZA</b>					
Curva di costipamento Proctor modificata	-	-	-	-	
Resistenza a compressione a 3 giorni	UNI EN 13286-41	Rc	MPa	-	
Resistenza a compressione a 7 giorni	UNI EN 13286-41	Rc	MPa	da 2,5 a 4,5	
Resistenza a trazione indiretta a 3 giorni	UNI EN 13286-42	Rit	MPa	-	
Resistenza a trazione indiretta a 7 giorni	UNI EN 13286-42	Rit	MPa	≥ 0,25	
<b>CARATTERISTICHE DELLO STRATO</b>					

### Capitolo 3: Caratteristiche cogenti

Modulo di deformazione	CNR 146 DIN 18134	MD	MPa	> 150
Modulo elastico equivalente ( F.W.D. )	ASTM D 4694/96	E (a 7gg)	Mpa	-
		E (a 60gg)	Mpa	-
Densità in situ (rispetto alla densità massima Proctor)	UNI EN 13286- 2	-	%	-
temperatura minima del fondo	-	T	°C	-
Spessore dello strato	-	S	cm	-
Regolarità dei piani con regolo da 4 m (scostamento)	-	-	-	-
Light Falling Weight Deflectometer		4 ore	MPa	-
		1 gg	MPa	-

### 3.6 CONCLUSIONI IN MERITO ALLE PRESTAZIONI RICHIESTE

Così come si è potuto evincere dagli stralci di capitolato sopra riportati è chiaro che per aziende operanti nel settore, le caratteristiche dei misti granulari da impiegare nella realizzazione di fondazioni legate e non, devono avere caratteristiche geometriche e prestazionali tra essi molto vicine.

In primis, tutti i materiali devono essere dotati di marcatura CE, la quale non costituisce un marchio di qualità, quanto piuttosto l'attestazione che il prodotto soddisfa i requisiti fondamentali essenziali delle Direttive e che tutte le procedure e le prescrizioni in esse contenute sono state rispettate e portate a termine.

Il soddisfacimento dei requisiti essenziali costituisce il solo aspetto tecnico *obbligatorio* delle Direttive. Le Direttive comunitarie, che utilizzano la tecnica del “ Nuovo approccio “ non indicano cosa si deve obbligatoriamente fare, ma stabiliscono degli obiettivi a cui giungere tassativamente, lasciando però libera strada per arrivarvi. Le Direttive individuano tutta via una strada maestra per conseguire il soddisfacimento dei requisiti essenziali, cioè utilizzando la Normativa Tecnica emanata dagli organismi di normazione.

Tali organismi europei, che su mandato della Commissione della Comunità Europea esplicano i generici requisiti delle norme, adottano *norme armonizzate* che definiscono le specifiche tecniche di cui gli operatori hanno bisogno per progettare e fabbricare prodotti conformi alle esigenze essenziali delle direttive.

Per tanto, tali obiettivi tra loro simili, permettono di studiare un mix design che, oltre a soddisfare le voci di più capitolati speciali d'appalto, soddisfi contemporaneamente anche gli obiettivi fissati dalle norme tecniche e che quindi sia largamente utilizzabile in un panorama nazionale ed internazionale, indipendentemente dalla classificazione della strada e del traffico a cui compete il rilevato stradale che si vuole realizzare.



## CAPITOLO 4

# PREQUALIFICA CAMPIONI DI STUDIO

### 4.1 INTRODUZIONE

Nel presente capitolo si descriveranno tutte le prove di laboratorio adottate, eseguite secondo normativa vigente, per stabilire una prequalifica dei cinque materiali di partenza illustrati di seguito.

La finalità proposta è quella di studiarne le caratteristiche fisico-chimiche utili per stabilire le proporzioni indicative con cui avviare lo studio delle miscele di laboratorio.

La prequalifica dei materiali utilizza le seguenti prove per definire i materiali di studio:

- Limiti di Atterberg;
- Analisi granulometrica;
- Analisi merceologica;
- Indice di forma (S.I.);
- Indice di appiattimento (F.I.);
- Massa volumica reale (M.V.R.);
- Massa volumica apparente (M.V.A.);
- Massa volumica in mucchio (M.V.M.);
- Massa volumica;
- Prova Los Angeles (L.A.);
- Equivalente in sabbia (E.S.).

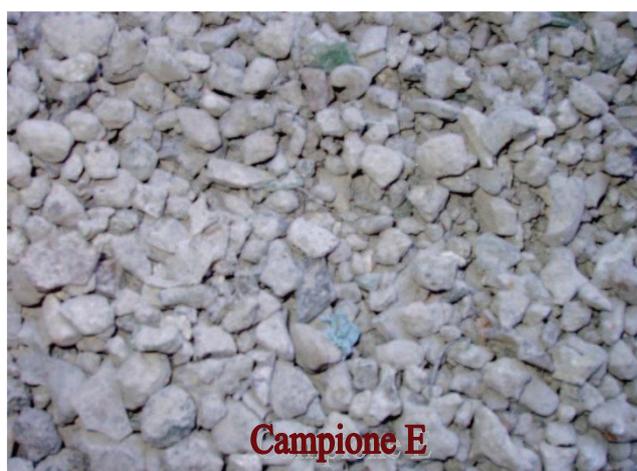
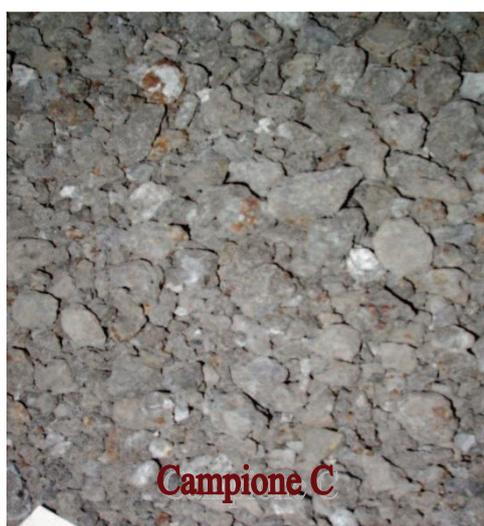
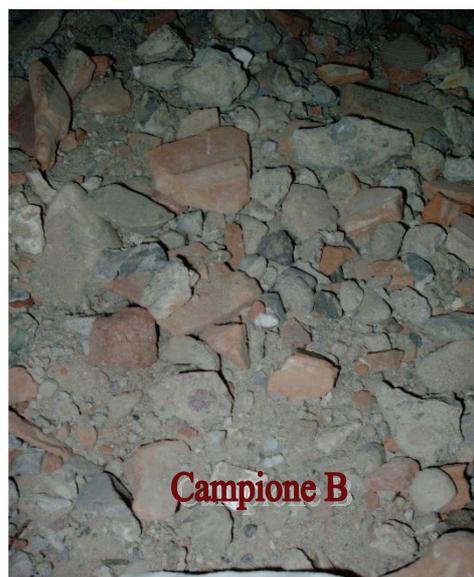


Figura 4. 1: I cinque campioni di partenza forniti.

Il campione A deriva dalla macinazione esclusivamente di manufatti in calcestruzzo; il campione B invece, più eterogeneo, deriva da demolizioni e costruzioni senza però una attenta selezione preventiva.

Il C, loppa d'altoforno, deriva dagli scarti di lavorazione delle industrie siderurgiche; mentre i campioni D ed E derivano dallo stesso materiale proveniente da impianti di smaltimento rifiuti.

<b>LEGENDA</b>	
<i>Campione</i>	<i>Nome</i>
<b>A</b>	Calcestruzzo
<b>B</b>	Misto Riciclato
<b>C</b>	Altoforno
<b>D</b>	Sand Matrix
<b>E</b>	AG Matrix

Tabella 4. 1: Descrizione dei campioni forniti.

## 4.2 LIMITI DI ATTERBERG

Il contenuto d'acqua influenza il comportamento dei terreni argillosi; se esso cresce si ha un aumento di volume del terreno, le particelle si distanziano tra loro modificando la loro mutua interazione e diminuisce lo sforzo tangenziale<sup>[16]</sup>.

Si definiscono *Limiti di Atterberg* i contenuti d'acqua, determinati in laboratorio con procedure standardizzate, che rappresentano i passaggi critici di comportamento di un terreno a grana fine.

Il contenuto d'acqua che separa il passaggio dal solido fragile al semisolido è detto *limite di ritiro*  $w_S$ , quello dal semisolido al plastico *limite plastico*  $w_P$  e quello dallo stato plastico allo stato fluido *limite liquido*  $w_L$ .

Infine si definisce l'*indice di plasticità IP*, che rappresenta l'ampiezza dell'intervallo plastico del terreno ed è espresso dalla formula:

$$IP(\%) = w_L - w_P$$

La scheda della prova tratta la norma **CNR UNI 10014: 1964**, che contiene la descrizione del metodo con *Cucchiaio di Casagrande*, riconosciuto di buona regola e ancora oggi usato abitualmente per effettuare questo tipo di prova.

La norma **UNI CEN ISO/TS 17892-12** attualmente in vigore ed in sostituzione della sopracitata CNR che utilizza il metodo con punta conica, non è ancora entrata a tutti gli effetti a far parte della pratica comune.

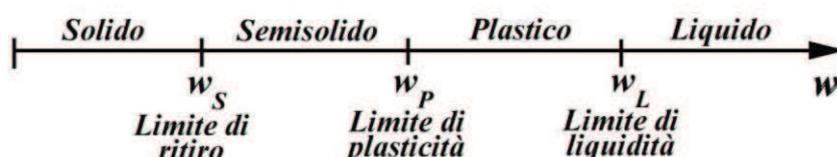


Figura 4. 2: Passaggio di stato secondo i limiti di Atterberg.

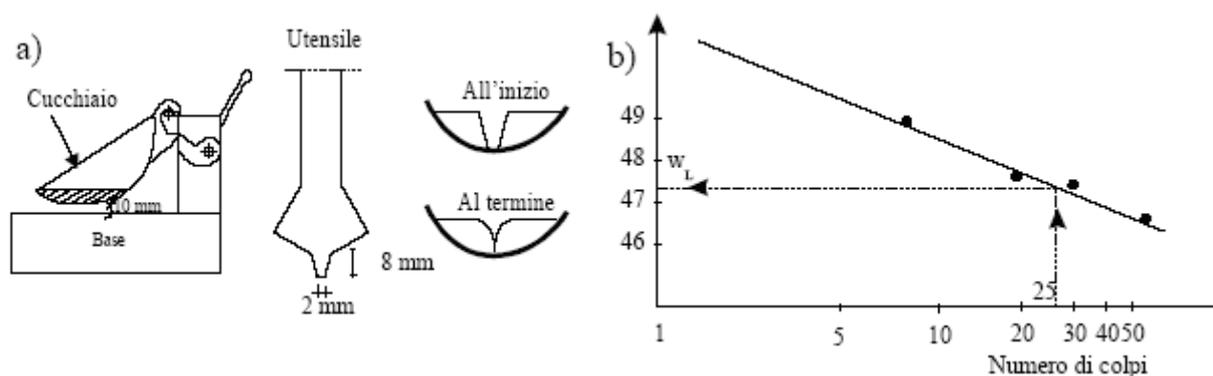


Figura 4. 3: a) Cucchiaio di Casagrande; b) procedura sperimentale per la determinazione del limite liquido.

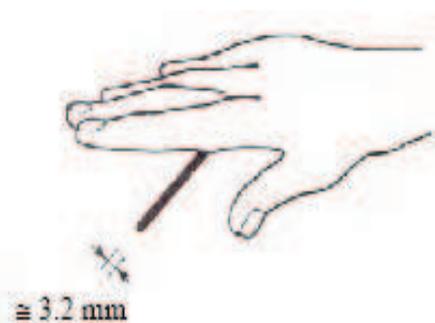


Figura 4. 4: Determinazione sperimentale del limite plastico

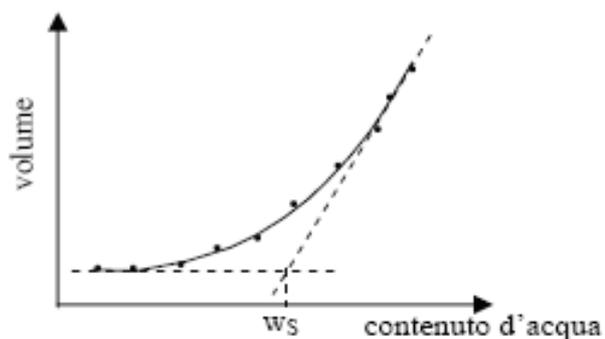
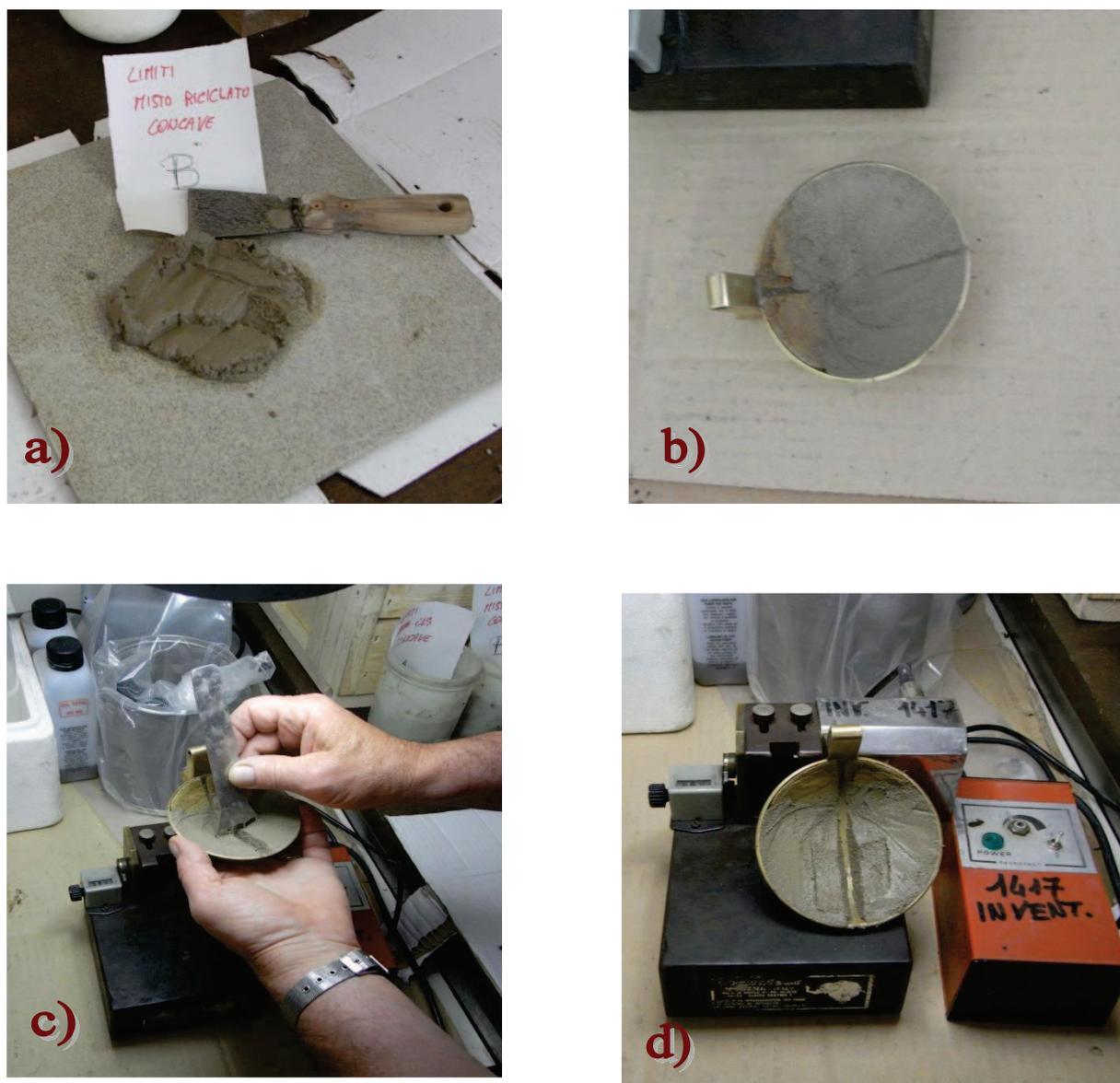


Figura 4. 5: Determinazione sperimentale del limite di ritiro.



**Figura 4. 6:** a) Preparazione dei provini; b) posizionamento nel cucchiaio di Casagrande; c) creazione del solco di dimensioni normate; d) posizionamento nella macchina battente.

Risultati e conclusioni:

I risultati ottenuti dalla prova, raggruppati in Tabella 4.2 evidenziano il valore del raggiungimento del passaggio di stato ottenuto per i vari campioni; per nessuno dei cinque campioni in esame è stato possibile effettuare i cilindretti di 3,2 mm di diametro, in quanto ad ogni grado di umidità tendevano a sfaldarsi, pertanto tutti i campioni trattati sono risultati non plastici e di conseguenza per gli stessi non si è potuto determinare l'indice plastico.

Dal momento che i capitolati analizzati prevedono l'utilizzo di materiale non plastico, i campioni rispettano a pieno questa richiesta.

<b>LIMITI DI ATTERBERG</b>			
<i>Campione</i>	<i>Limite Liquido [%]</i>	<i>Limite Plastico [%]</i>	<i>Indice Plastico</i>
<b>A</b>	34,07	N.P.	N.D.
<b>B</b>	34,45	N.P.	N.D.
<b>C</b>	31,07	N.P.	N.D.
<b>D</b>	55,27	N.P.	N.D.
<b>E</b>	43,84	N.P.	N.D.

Tabella 4. 2: Valore percentuale dei limiti per ogni campione.

### 4.3 ANALISI GRANULOMETRICA PER SETACCIATURA

Le specifiche della prova di analisi granulometrica sono contenute nella norma **UNI EN 933-1/2**, recepimento a livello nazionale della norma europea **EN 933-1** (agosto 1997) e dell'aggiornamento A1 (ottobre 2005) e stabiliscono in generale un metodo per la determinazione della distribuzione granulometrica degli aggregati mediante *setacciatura* <sup>[17],[18]</sup>.

I materiali a cui si può applicare sono naturali e artificiali, anche aggregati leggeri, fino ad una dimensione nominale di 90 mm.

In base alla procedura, si è trattato di suddividere il campione di prova in numerose classi granulometriche di dimensioni decrescenti. La dimensione delle maglie e il numero dei setacci sono stabiliti in base alla precisione richiesta ed alla natura del campione.

La procedura di setacciatura prevede il preventivo lavaggio del campione di prova con eliminazione della frazione  $\leq 63$  micron e successivo essiccamento in stufa del trattenuto. Si procederà quindi alla setacciatura a secco.

Il processo consiste nel versare un campione del materiale lavato ed essiccato di peso  $P_i$  nella colonna di setacci sovrapposti. Il setaccio al fondo deve comunque essere quello da 63 micron, avendo l'esperienza dimostrato che il lavaggio non consente in ogni caso di eliminare la totalità della frazione finissima.

La colonna viene poi agitata per dividere le frazioni e in seguito ogni singola frazione separata dovrà essere pesata ottenendo i *trattenuti parziali*  $T_i$  nei vari setacci espressi in % rispetto al peso totale del campione sottoposto a vagliatura.

Per l'i-esimo setaccio, essendo N il numero totale dei setacci, si avrà:

$$T_i(\%) = 100 \cdot \frac{P_i}{\sum_{i=1}^N P_i}$$

dove  $T_i$  rappresenta la percentuale di inerte che rimane nei singoli setacci.

Vengono poi calcolati i trattenuti cumulativi nei vari setacci relativi a tutta la quantità di materiale trattenuta nel setaccio i-esimo ed in quelli sovrastanti ( $j=1 \rightarrow i$ ), espressi in % rispetto al peso totale del campione

$$TC_i(\%) = 100 \cdot \frac{\sum_{j=1}^i P_j}{\sum_{i=1}^N P_i}$$

Vengono poi calcolati i passanti cumulativi nei vari setacci calcolati come il complemento a 100 dei trattenuti cumulativi, espressi in % rispetto al peso totale del campione:

$$PC_i(\%) = 100 - TC_i(\%)$$

Tali valori vengono rappresentati in grafico in funzione delle aperture dei setacci (usualmente in scala logaritmica) ottenendo così la cosiddetta curva granulometrica.

L'eventuale peso del passante al setaccio da 63 micron verrà indicato con P.

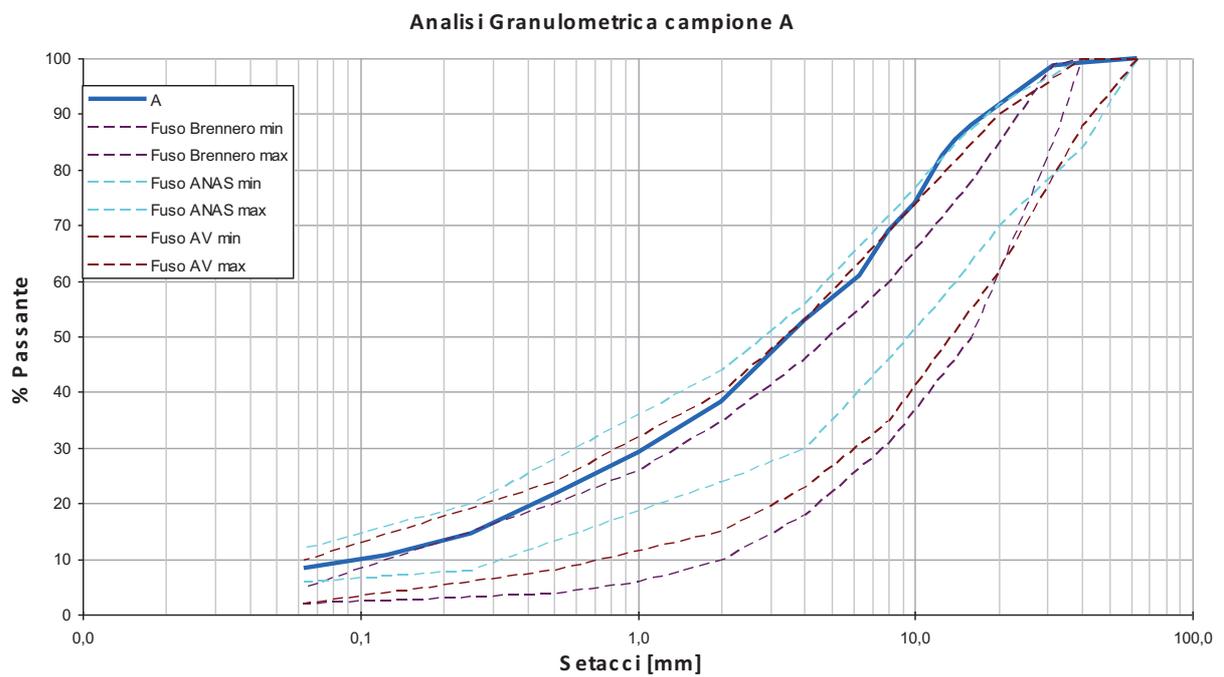
La validità della prova si ha quando la somma delle masse  $R_i$  e di P non differisce di più dell'1% dalla massa essiccata dal trattenuto al setaccio da 63 micron, ossia quando P è trascurabile.

In seguito si riportano le curve granulometriche rappresentative dei cinque campioni di partenza, prese singolarmente e messe a confronto con i fusi granulometrici degli enti presi come riferimento.

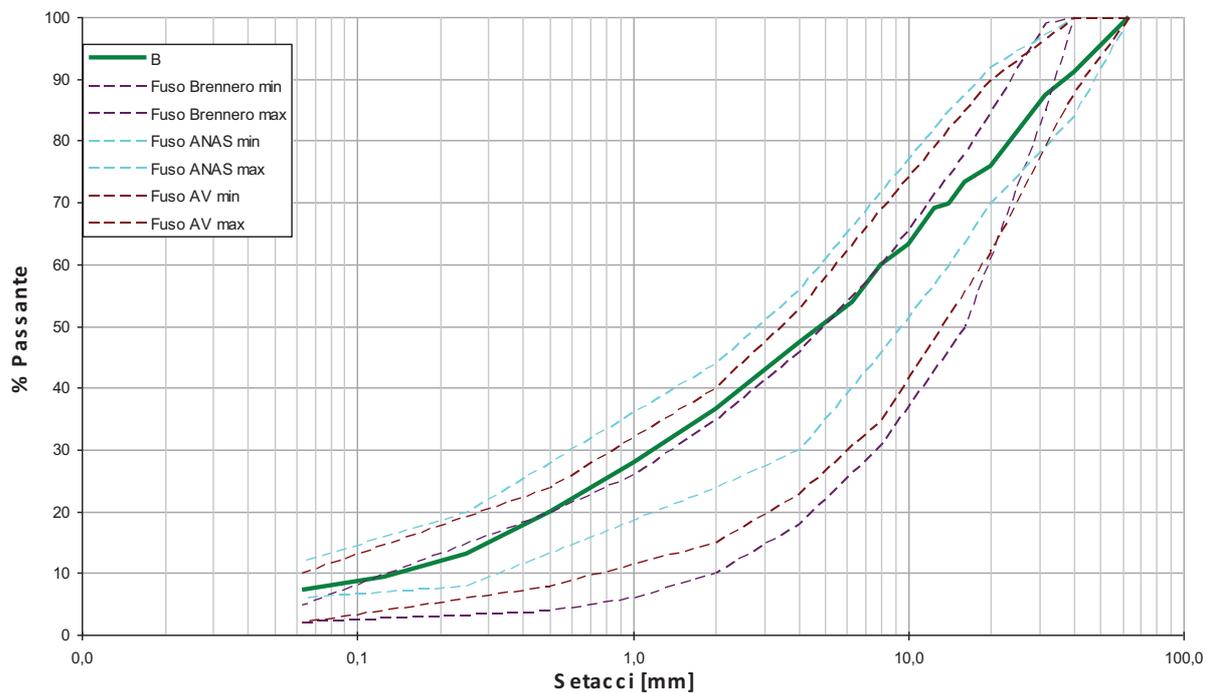
Da un riscontro grafico si evidenzia che tra quelli trattati, il fuso imposto da "Autostrade per il Brennero S.p.a." risulta essere il più stringente; caratteristica quest'ultima che ha fatto propendere per una restrizione della ricerca tale da soddisfare i soli fusi di "Autovie Venete" ed "ANAS Spa."



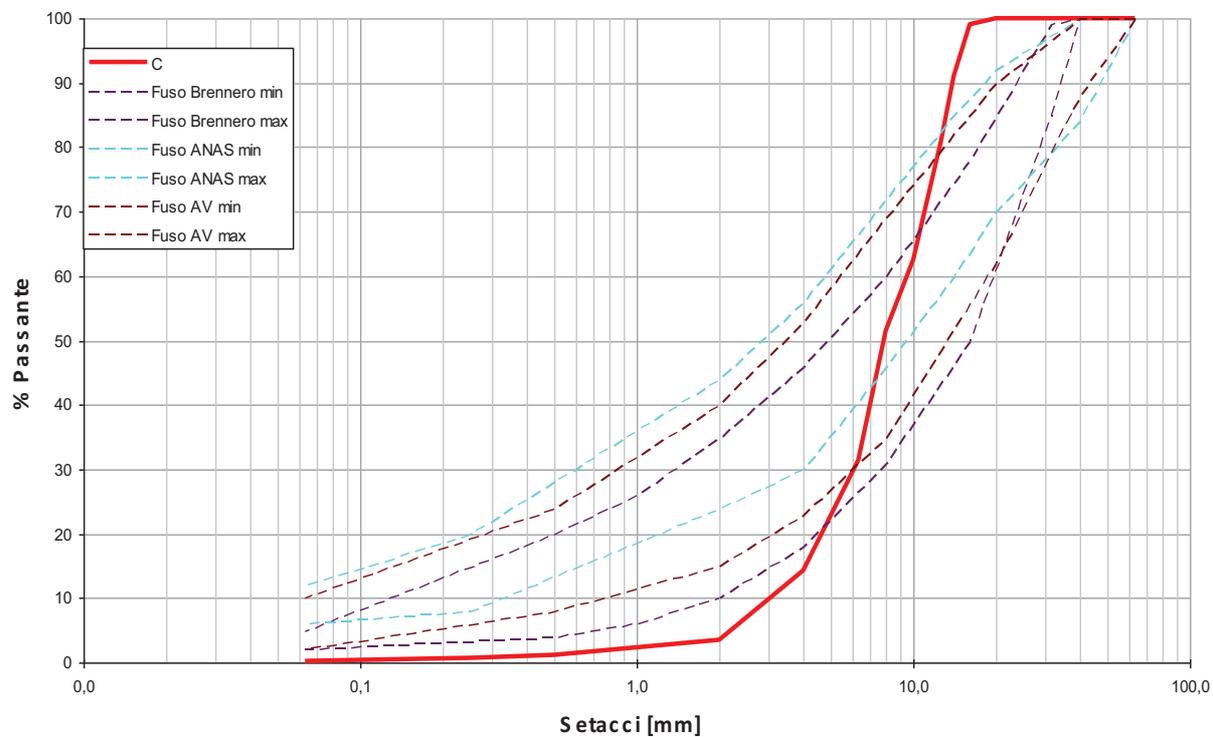
Figura 4. 7: Colonna di setacci utilizzati, secondo normativa UNI 933-1.



Analisi Granulometrica campione B



Analisi Granulometrica campione C



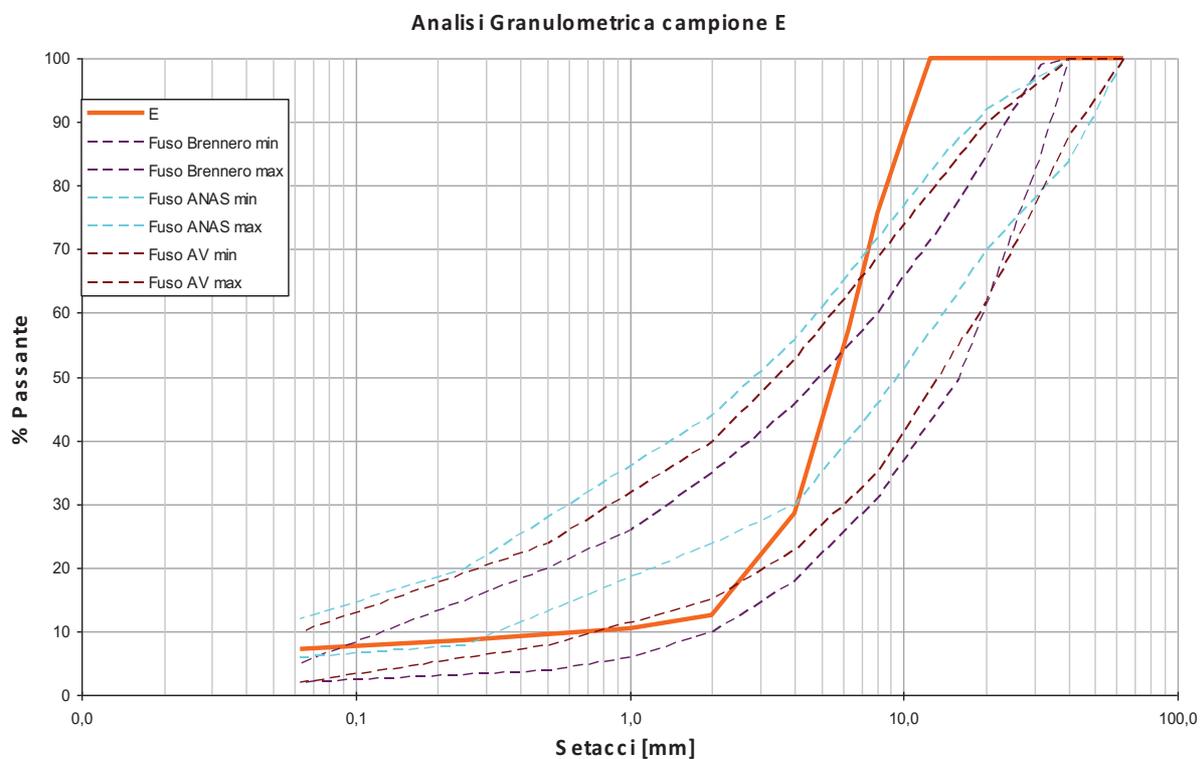
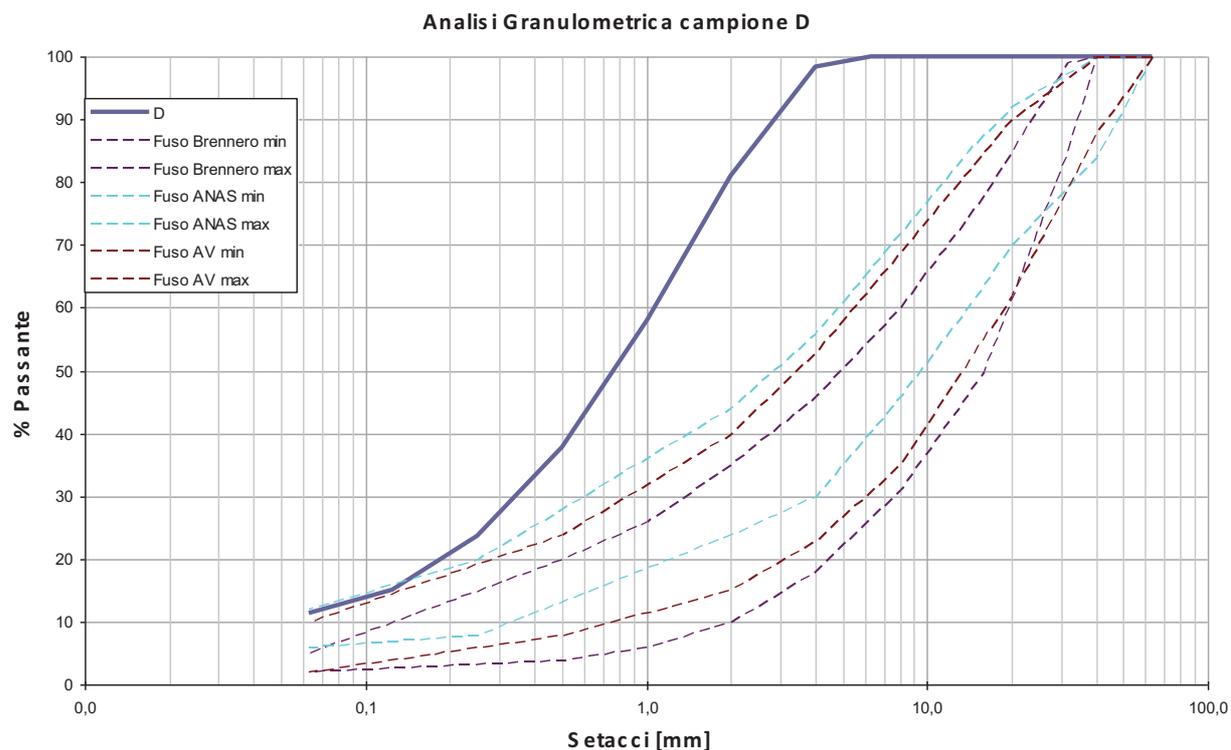


Figura 4. 8: Curve granulometriche degli inerti vagliati.

### Risultati e conclusioni:

Dai grafici sopra riportati si nota che dei campioni di studio, solo l'A ed il B hanno già in partenza una granulometria sufficientemente adeguata per rispondere ai requisiti richiesti, mentre i restanti campioni risultano non rispondenti.

Anche in considerazione di questo fattore si è quindi proceduto ad uno studio di miscele derivanti dalla combinazione di quelle di partenza, come vedremo nel capitolo 5.

## 4.4 ANALISI MERCEOLOGICA

Le specifiche della prova di analisi merceologica sono contenute nella norma **UNI EN 933-11**, in recepimento a livello nazionale della norma europea **EN 933-11** (edizione 2009) e descrive un metodo semplice per l'esame degli aggregati *riciclati* grossi, cioè con granulometria compresa tra i 4 ed i 63 mm, al fine di verificare le proporzioni pertinenti di materiali costituenti<sup>[19]</sup>.

La prova si applica specificatamente ai materiali macinati derivanti da demolizione per i quali si può anche operare una separazione a priori.

Nell'eventualità che la demolizione avvenga senza tale separazione, con la prova merceologica ci si pone l'obbiettivo di stabilire cosa contiene un determinato inerte ed in che percentuali.

La porzione di ogni costituente nella porzione del provino è determinata ed espressa come percentuale in massa, fatta eccezione per la porzione di particelle galleggianti.

Per tali particelle, intese come le particelle di materiale con peso specifico inferiore di quello dell'acqua, la frazione merceologica relativa non viene espressa come percentuale in peso ma in volume.

La determinazione della frazione di particelle galleggianti avviene mediante l'utilizzo di una buretta graduata nella quale vengono immerse le particelle di galleggiante secondo la procedura di seguito descritta.

I materiali catalogati dalla UNI 933-11 sono suddivisi secondo la tabella seguente:

Costituenti	Descrizione
R <sub>c</sub>	Calcestruzzo, prodotti in calcestruzzo, malta, muratura di calcestruzzo
R <sub>u</sub>	Aggregati non legati, pietre naturali, aggregati idraulici legati
R <sub>b</sub>	Muratura in argilla (mattoni e piastrelle), silicati di calcio, particelle non galleggianti
R <sub>a</sub>	Conglomerato bituminoso
R <sub>g</sub>	Vetro
X	Altro: <ul style="list-style-type: none"><li>- materiali coesivi argilla e terreno)</li><li>- materiali ferrosi e non,</li><li>- non galleggianti, legno, plastica e gomma,</li><li>- intonaco di gesso.</li></ul>

Tabella 4. 3: Costituenti non galleggianti di un aggregato grossolano non riciclato.

#### Preparazione della porzione di prova

Il materiale deve venire preventivamente lavato per eliminare la parte di particelle fini e successivamente asciugato.

Si setaccia il campione agitando con una forza sufficiente ad assicurare la completa separazione delle particelle più grandi di 4 mm.

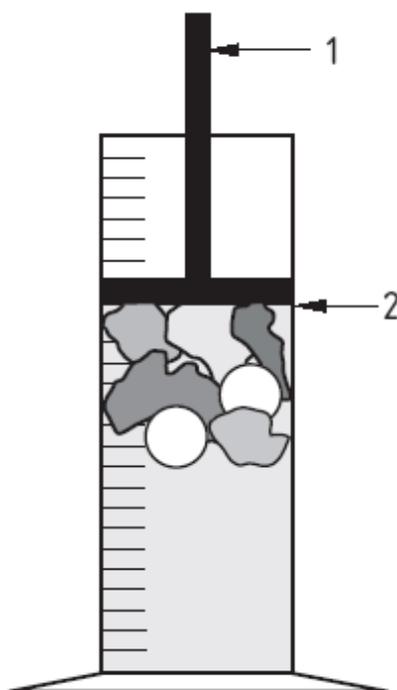
Come precedentemente menzionato, le particelle con diametro superiore ai 63 mm trattenute al setaccio corrispettivo e quelle inferiori a 4 mm verranno scartate.

Si registra la massa della porzione di prova ottenuta come  $M_1$ .

A seguito di una separazione manuale delle diverse frazioni di materiale si utilizza il metodo del cilindro graduato per determinare la percentuale in volume occupata dalla frazione galleggiante così come indicato in Figura 4.9 avendo cura di versarle nel cilindro preventivamente riempito con un volume noto di acqua sufficiente a garantire la totale immersione delle particelle.

Con uno stantuffo si procede ad immergerle totalmente in modo tale da non intrappolare particelle d'aria e non immergere lo stantuffo stesso, dopodichè si registra l'aumento di volume e, noto quello totale, si ricava la percentuale in volume.

In base alle percentuali in peso ed in volume dei materiali riconosciuti presenti nel campione di prova ed in base alla suddivisione che viene esplicitata dalla UNI 933-11, Tabella 2, si arriva alla determinazione delle frazioni merceologiche di cui si compone il campione, così come riportato in Tabella 4.4.



**Figura 4. 9:** Esempio di determinazione del volume della frazione di particelle galleggianti.

### Risultati e conclusioni:

Dalla tabella sotto emerge che i campioni A e B sono composti dagli stessi materiali con netta prevalenza nel primo di materiale nobile come il calcestruzzo mentre nel secondo è presente una discreta percentuale di mattone e mattonelle.

Il campione C è loppa d'altoforno derivante da lavorazioni di industrie siderurgiche; la composizione di tale materiale è quindi data da schede fornite dai produttori e non necessita di prova merceologica (non sono riconoscibili i materiali costituenti ad occhio nudo).

<i>ANALISI MERCEOLOGICA</i>							
	R <sub>c</sub>	R <sub>u</sub>	R <sub>b</sub>	R <sub>a</sub>	R <sub>g</sub>	X	FL
<i>Campione</i>	Calcestruzzo [% in peso]	Aggregati naturali [% in peso]	Mattoni e piastrelle [% in peso]	Conglomerato bituminoso [% in peso]	Vetro [% in peso]	Ferro plastica non galleggianti [% in peso]	Galleggianti [% in volume]
<b>A</b>	90%	5%	5%	0%	0%	0%	0%
<b>B</b>	50%	30%	20%	0%	0%	0,01%	0,01%
<b>C</b>	0%	0%	0%	0%	0%	N.D.	0%
<b>D</b>	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
<b>E</b>	0,0%	75,4%	1,5%	0,0%	22,7%	0,4%	3,0%

**Tabella 4. 4:** Analisi merceologica, differenziazione per tipo di inerte.

I campioni D ed E sono lo stesso materiale, in classe granulometrica differente; pertanto la prova merceologica è stata eseguita sulla pezzatura più grossa, in cui vi è una riconoscibilità dei componenti.

In tabella 4.5 vengono riportate le richieste di vari capitolati, tipo capitolato speciale d'appalto della regione Toscana e quello della provincia autonoma di Trento da cui emerge che, tranne il materiale E che presenta un'eccessiva presenza di vetro, gli altri materiali rientrano nelle prescrizioni

COMPONENTI			
Materiali litici di qualunque provenienza, pietrisco tolto d'opera, calcestruzzi, laterizi, refrattari, ceramici, malte, intonaci, scorie e loppe	Separazione al setaccio 8 mm (UNI EN 13285/2004)	%	> 80
Vetro e scorie vetrose		%	≤ 10
Conglomerati bituminosi		%	≤ 15
Altri rifiuti minerali dei quali sia ammesso il recupero nel corpo stradale ai sensi della legislazione vigente.		%	≤ 15 (totale) ≤ 5 (singolo)
Materiali deperibili: carta, legno, fibre, cellulosa, sostanze organiche eccetto bitume; materiali plastici		%	≤ 0,1
Altri materiali (metalli, gesso, gomme, etc.)		%	≤ 0,4

Tabella 4. 5: Richieste capitolati provincia Autonoma di Trento e regione Toscana

#### 4.5 INDICE DI FORMA (S.I.)

L'indice di forma è definito in riferimento alla norma **UNI EN 933-4**, la quale stabilisce una metodologia per la sua determinazione in miscele di aggregati di qualsiasi origine con granulometria compresa tra 4 mm e 63 mm. Definita la massa della porzione di prova pari a 500 g, il procedimento consiste nella separazione dell'aggregato in esame in diverse classi granulometriche di/Di, secondo quanto riportato nella norma UNI EN 933-1, e tali per cui Di sia minore od uguale a  $2d_i^{[20]}$ .

Successivamente per ogni classe (di/Di), utilizzando un apposito calibro, vengono determinati i granuli "non cubici", ovvero quei granuli con un rapporto lunghezza/spessore maggiore di 3.

La figura 4.10 mostra un esempio di utilizzo del calibro per determinare lunghezza e spessore dei granuli.



Figura 4. 10: Esempio di calibro utilizzato.

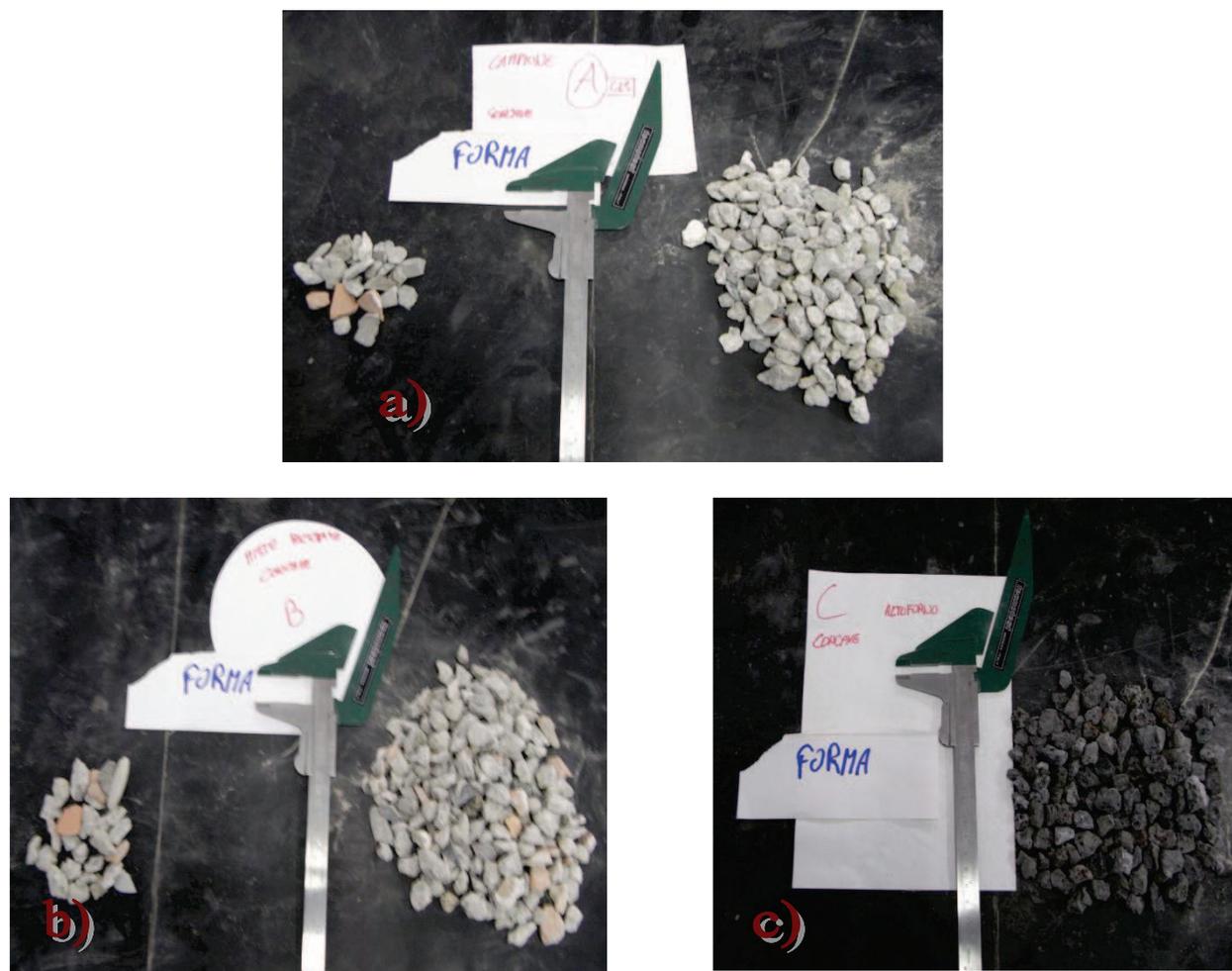


Figura 4. 11 a); b); c): Campioni di materiale sottoposti a valutazione dell'indice di forma.

L'indice di forma viene quindi espresso attraverso l'espressione :

$$SI = \frac{M_2}{M_1} * 100$$

Dove: -  $M_1$  è la somma delle masse dei granuli di ogni classe granulometrica ( $d_i/D_i$ );

-  $M_2$  è la somma delle masse dei granuli non cubici di ogni classe granulometrica.

In relazione ad esso viene definita la categoria di riferimento secondo quanto riportato nella norma armonizzata UNI EN 13242, come evidenzia la Tabella 4.4 .

<b>Coefficiente di forma</b>	<b>Categoria SI</b>
$\leq 20$	SI <sub>20</sub>
$\leq 40$	SI <sub>40</sub>
$\leq 55$	SI <sub>55</sub>
$> 55$	SI <sub>Dichiarato</sub>
Nessun requisito	SI <sub>NR</sub>

**Tabella 4. 6:** Categorie per i valori massimi del coefficiente di forma.

Dalle prove di laboratorio eseguite i risultati ottenuti sono raggruppati nella Tabella 4.6.

Risultati e conclusioni:

<b>INDICE DI FORMA (S.I.)</b>			
<i>Campione</i>	$M_1$ [g]	$M_2$ [g]	<i>S.I.</i> [%]
<b>A</b>	500,00	41,20	8,24
<b>B</b>	500,00	45,70	9,14
<b>C</b>	500,00	0,00	0,00
<b>D</b>	N.D.	N.D.	N.D.
<b>E</b>	500,00	42,50	8,50

**Tabella 4. 7:** Risultati della prova di indice di forma.

Elaborando i risultati ottenuti nella prova appena descritta è possibile ricavare un indice di forma SI inferiore al 10% per i campioni A, B ed E.

Il campione C presenta un indice di forma pari allo 0% e ciò è dovuto alla particolare modalità di costituzione dello stesso; il valore ottenuto indica che il campione è prevalentemente costituito da granuli cubici, per tanto questi campioni rientrano nella categoria di riferimento SI<sub>20</sub>. Per quanto riguarda il campione D, la granulometria non era congrua ai fini dell'esecuzione della prova.

Poiché i capitolati analizzati prevedevano un limite massimo dell'indice di forma pari al 35% (SI<sub>35</sub>), i risultati ottenuti si possono considerare pienamente soddisfacenti.

#### 4.6 INDICE DI APPIATTIMENTO (F.I.)

Per quanto concerne l'indice di appiattimento, è definito con riferimento alla norma **UNI EN 933-3**. Tale norma, infatti, descrive un metodo per la definizione dell'indice di appiattimento per aggregati di qualsiasi origine con dimensioni comprese tra 4 mm e 80 mm<sup>[21]</sup>.

Il procedimento consiste in due operazioni di stacciatura: dapprima, usando stacci di prova, il campione viene separato nelle diverse classi granulometriche  $d_i/D_i$ , in riferimento alla norma UNI EN 933-1; successivamente, ogni classe ( $d_i/D_i$ ) viene stacciata con stacci ad aperture parallele di larghezza pari a  $D_i/2$ . La Figura 4.12 mostra un esempio di stacci ad aperture parallele in conformità alla norma UNI EN 933-3.

In particolare per i campioni A e B si sono utilizzati stacci per classi granulometriche da 20/25 a 10/12,5, mentre per il campione C stacci dal 16/20 all'8/10.



**Figura 4. 12:** Setacci ad aperture parallele.

Al termine della prova viene così ricavato l'indice di appiattimento FI, definito dall'espressione

$$FI = \frac{M_2}{M_1} * 100$$

dove:

- $M_1$  è la somma delle masse dei granuli di ogni classe granulometrica ( $d_i/D_i$ );
- $M_2$  è la somma delle masse dei granuli di ogni classe granulometrica passante attraverso il corrispondente staccio a barre con apertura di larghezza pari a  $D_i/2$ .

Osservando la Tabella 4.7, in funzione di esso viene definita la categoria di riferimento in accordo con quanto richiesto dalla norma armonizzata UNI EN 13242:2004.

<b>Coefficiente di appiattimento</b>	<b>Categoria FI</b>
≤ 20	FI <sub>20</sub>
≤ 35	FI <sub>35</sub>
≤ 50	FI <sub>50</sub>
> 50	FI <sub>Dichiarato</sub>
Nessun requisito	FI <sub>NR</sub>

**Tabella 4. 8:** Categorie per i valori massimi del coefficiente di appiattimento.

*Risultati e conclusioni:*

Dalle prove di laboratorio eseguite i risultati ottenuti sono raggruppati nella Tabella 4.8.

<b>INDICE DI APPIATTIMENTO (F.I.)</b>			
<i>Campione</i>	$M_1$ [g]	$M_2$ [g]	F.I. [%]
<b>A</b>	1107,6	148,5	13,41
<b>B</b>	905,2	112,3	12,41
<b>C</b>	1615,6	54,4	3,37
<b>D</b>	N.D.	N.D.	N.D.
<b>E</b>	711,7	125,4	17,62

**Tabella 4. 9:** Risultati della prova di indice di appiattimento.

Da quanto sopra riportato è possibile ricavare un indice di appiattimento FI inferiore al 15% per i primi tre campioni, in particolare il campione C è pari al 3,37%; per i campioni D ed E data la loro natura, non si è potuta svolgere la prova, per tanto i primi tre rientrano nella categoria di riferimento FI<sub>20</sub>.

Pertanto i materiali trattati si presentano, sotto questi aspetti, sufficientemente regolari (poiché valori tendenti a 0 indicano che l'elemento è sferoidale, mentre all'aumentare del valore, il granulo tende ad essere molto appiattito o ad avere una dimensione prevalente rispetto alle altre).

Anche in questo caso i capitolati analizzati prevedono un limite massimo dell'indice di appiattimento pari al 35% (FI<sub>35</sub>), quindi i risultati ottenuti si possono considerare pienamente soddisfacenti.

#### 4.7 MASSA VOLUMICA REALE (M.V.R.)

La prova consiste nel determinare la massa volumica delle particelle e l'assorbimento d'acqua in riferimento alla norma **UNI EN 1097-7**, recepimento della norma europea EN 1097-7 (edizione marzo 2008) <sup>[22]</sup>.

Il principio su cui si basa è quello che utilizza il metodo con picnometro, che è un metodo noto per la determinazione del volume di campioni di forma irregolare, quali per esempio gli aggregati. Qualora sia nota la massa costante del campione, è possibile calcolare la sua massa volumica.

Il principio consiste nel sostituire una determinata quantità di liquido di massa volumica nota con la porzione di prova.

Un picnometro con volume noto, contenente la porzione di prova, è riempito di liquido.

Il volume del liquido è calcolato dividendo la massa del liquido aggiunto per la massa volumica del liquido. Il volume della porzione di prova è pertanto calcolato sottraendo tale volume dal volume del picnometro.

Si deve interpretare la massa volumica reale  $\rho_r$  come la massa di un volume unitario preso come riferimento (ad esempio 1 m<sup>3</sup>) in assenza di vuoti. Per ottenere un materiale che presenti la totale assenza di vuoti, questo deve venire preventivamente *polverizzato*.

##### Modalità di esecuzione:

La dimensione dei granuli del provino deve essere preventivamente ridotta in modo che la sua totalità sia passante al setaccio da 0,063 mm in conformità alla EN 932-2.

La porzione di prova prima dell'essiccazione deve avere una massa minima di 50 g.

L'essiccazione avviene ad una temperatura di  $(110 \pm 5)$  °C fino al raggiungimento della massa costante, dopodichè viene lasciata raffreddare nell'essiccatore per almeno 90 min.

##### Procedimento:

Per determinare la massa volumica reale si utilizzano due provini per ogni campione e un liquido di massa volumica nota.

Si procede con l'effettuazione delle pesate con accuratezza fino a 0,001 g, per poi procedere con le seguenti fasi:

- si pesa il picnometro pulito e asciutto con tappo ( $m_0$ );
- si riempire il picnometro con  $(10 \pm 1)$  g di materiale polverizzato prelevato dalla porzione di prova e lo si pesa nuovamente ( $M_1$ );
- si aggiunge una quantità di liquido sufficiente ad immergere completamente il provino;
- si mette il tappo al picnometro e lo si pone nell'essiccatore a vuoto dove lo si dearea tramite la pompa a vuoto per circa 5 min e dove rimarrà per almeno 30 min ad una pressione minore di 3,0 kPa;
- dopo aver ripristinato la pressione d'aria nell'essiccatore si estrae il picnometro e lo si riempie di liquido;
- si pone successivamente il picnometro senza tappo a bagnomaria a  $(25 \pm 0,1)$  °C in modo che la sommità fuoriesca di 2 mm o 3 mm dal livello dell'acqua nel bagno e dopo 60 min, si mette il tappo al picnometro facendo risalire una quantità d'acqua per capillarità;
- una volta rimosso il picnometro dal bagnomaria lo si raffredda rapidamente mediante acqua corrente;

- si asciuga delicatamente l'esterno e si pesa il picnometro pieno di provino e liquido ( $M_2$ ).

La massa volumica dei granuli pre-essiccati in stufa è quindi data dall'espressione:

$$\rho_{rd} = \rho_w * \frac{M_4}{M_1 - (M_2 - M_3)}$$



Figura 4. 13: Picnometri contenenti i cinque campioni in fase di deaerazione.



Figura 4. 14: Picnometri riempiti per la determinazione della massa  $M_2$ .

<b>MASSA VOLUMICA REALE EN 1097-7</b>												
<i>Campione</i>	<b>A</b>		<b>B</b>		<b>C</b>		<b>D</b>		<b>E</b>			
<i>T di prova [°C]</i>	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	
<i>Peso specifico acqua a T prova [g/cm<sup>3</sup>]</i>	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	
<i>Picnometro [n°]</i>	1	2	3	4	1	2	5	6	3	4		
<i>Peso M<sub>2</sub> (picnometro+acqua+materiale)[g]</i>	95,60	97,11	96,18	96,47	99,98	100,88	92,40	93,49	99,23	99,05		
<i>Peso M<sub>3</sub>(picnometro+acqua)[g]</i>	79,06	77,89	80,33	80,04	79,06	77,89	80,15	78,44	80,33	80,04		
<i>Capsula [n°]</i>	35	3	15	38	31	37	25	7	35	25		
<i>Tara capsula [g]</i>	127,20	123,87	128,06	129,16	127,73	128,61	126,68	125,32	127,20	126,68		
<i>Peso lordo secco [g]</i>	153,36	154,25	153,33	155,27	156,09	159,78	146,05	149,16	157,06	156,68		
<i>Peso netto secco M<sub>4</sub> [g]</i>	26,16	30,38	25,27	26,11	28,36	31,17	19,37	23,84	29,86	30,00		
<i>Volume materiale [cm<sup>3</sup>]</i>	9,66	11,21	9,46	9,72	7,47	8,21	7,15	8,83	11,00	11,03		
<i>Peso specifico reale [g/cm<sup>3</sup>]</i>	2,708	2,711	2,672	2,686	3,796	3,795	2,710	2,701	2,713	2,719		
<i>Peso specifico reale medio [g/cm<sup>3</sup>]</i>	2,710		2,679		3,796		2,705		2,716			

Tabella 4. 10: Risultati della prova di determinazione della massa volumica reale.

#### 4.8 MASSA VOLUMICA APPARENTE (M.V.A.)

La prova consiste nel determinare la massa volumica delle particelle e l'assorbimento d'acqua in riferimento alla norma **UNI EN 1097-6** che costituisce il recepimento della norma europea EN 1097-6 (settembre 2000 + errata corrige AC:2002) e dell'aggiornamento A1 (ottobre 2005)<sup>[23]</sup>.

Tale norma specifica sei metodi di prova alternativi: i primi 5 sono riferibili ad aggregati normali, mentre l'ultimo ad aggregati leggeri. Tuttavia, si deve osservare, che la norma armonizzata di riferimento (UNI EN 13242) considera elusivamente i test indicati ai punti 7, 8, 9 della sopracitata norma UNI EN 1097-6, ovvero:

- il metodo del cestello a rete per aggregati con granuli compresi tra i 31,5 mm e 63 mm;
- il metodo picnometrico per aggregati con granuli compresi tra i 4 mm e 31,5 mm;
- il metodo picnometrico per aggregati con granuli compresi tra i 0,063 mm e 4 mm;

In riferimento ai metodi previsti, in laboratorio si è proceduto alla determinazione della massa volumica apparente mediante il solo metodo del picnometro.

La massa volumica apparente  $\rho_a$  deve essere intesa come la massa di un volume unitario preso come riferimento (ad esempio 1 m<sup>3</sup>) privo di vuoti *intergranulari* ma inclusi i vuoti *endogranulari* (cioè i pori di ogni singolo granulo); pertanto la massa volumica apparente dà un'idea della porosità del materiale.

##### Modalità d'esecuzione:

Il metodo prevede che il campione di prova venga lavato per eliminare frammenti minori di 4 mm ed il materiale trattenuto allo staccio da 31,5 mm venga allontanato.

Innanzitutto si immette il campione nell'acqua ( $T = (22 \pm 3)^\circ\text{C}$ ) contenuta nel picnometro cercando di eliminare l'aria intrappolata scuotendo e ruotando il picnometro. Si pone il picnometro nel bagno d'acqua mantenendolo alla temperatura indicata sopra per  $24 \pm 0,5$  h.

Trascorso tale tempo si rimuove il picnometro, cercando di far fuoriuscire ogni particella d'aria e lo si riempie fino a traboccamento sistemando il tappo. Si pesa determinando la massa  $M_2$ .

L'aggregato deve poi essere tolto dall'acqua e deve essere ripristinato il livello con acqua, prima di effettuare la seconda pesata del picnometro  $M_3$ .

L'aggregato deve essere versato su un panno asciutto e lasciato ad asciugare in posizione monostrato fino a quando ogni film visibile di acqua sia scomparso, pur continuando a mantenere un aspetto umido, questo al fine di eliminare l'acqua in eccesso prima di effettuarne la pesata ( $M_1$ ). Dopo l'essiccamento in stufa del campione a 110 °C fino al raggiungimento della massa costante, si procede alla pesata  $M_4$ .

L'espressione della massa volumica apparente dei granuli è la seguente:

$$\rho_a = \rho_w * \frac{M_4}{M_4 - (M_2 - M_3)}$$

Un altro parametro che si utilizza sovente ma che ai fini della determinazione dei parametri fisici dei campioni di studio non si è utilizzato, è la massa volumica dei granuli saturi a superficie asciutta:

$$\rho_{ssd} = \rho_w * \frac{M_1}{M_1 - (M_2 - M_3)}$$

Questo parametro risulta utile nell'ambito della realizzazione di conglomerati che utilizzano un qualunque legante e che quindi necessitano di una prefissata percentuale d'acqua al fine ottimizzare i valori di resistenza in funzione del rapporto acqua/legante.

Questo quarto valore a differenza delle masse volumiche reale, apparente ed in mucchio che sono allo stato secco, è secco esternamente ma umido all'interno.

In queste condizioni il campione di prova si presenta apparentemente secco sulla superficie esterna ma la parte interna è satura.

- assorbimento di acqua dopo 24 ore:  $WA_{24} = \frac{100 * (M_1 - M_4)}{M_4}$

dove  $\rho_w$  è la massa volumica dell'acqua alla temperatura di prova, in grammi al centimetro cubo.

<b>MASSA VOLUMICA APPARENTE EN 1097-6</b>					
<i>Campione</i>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>
<i>T prova</i> [°C]	29	29	29	29	29
<i>Peso specifico acqua a T prova</i> [g/cm <sup>3</sup> ]	0,99597	0,99597	0,99597	0,99597	0,99597
<i>Picnometro</i> [n°]	4	8	2	B	9
<i>Peso</i> (picnometro+acqua+materiale) [g]	2487,79	2143,47	2300,43	2461,42	1999,61
<i>Peso (picnometro+acqua)</i> [g]	2031,50	1670,50	1711,50	2118,50	1675,70
<i>Peso netto secco</i> [g]	743,76	771,68	813,24	592,20	546,85
<i>Volume materiale</i> [cm <sup>3</sup> ]	288,633	299,919	225,218	250,289	223,842
<i>Peso specifico apparente</i> [g/cm <sup>3</sup> ]	2,577	2,573	3,611	2,366	2,443

Tabella 4. 11: Massa volumica apparente dei cinque campioni.

#### 4.9 MASSA VOLUMICA IN MUCCHIO (M.V.M.)

La norma specifica i procedimenti di prova per la determinazione della massa volumica in mucchio di aggregati essiccati e il calcolo dei vuoti intergranulari <sup>[24]</sup>.

La prova si applica agli aggregati naturali e artificiali di dimensioni fino a un massimo di 63 mm.ed il materiale, trattato in riferimento alla norma **UNI 1097-3** che è la versione recepimento della norma europea EN 1097-3 (edizione aprile 1998).

Per *massa volumica in mucchio*  $\rho_b$  si intende il rapporto tra la massa dell'aggregato essiccato *non compattato* contenuto in uno specifico recipiente e la capacità del recipiente stesso; per tanto in queste condizioni il materiale presenta un valore di vuoti nettamente superiore rispetto allo stesso materiale nelle altre condizioni di prova.

Tale quantità di vuoti sarò quindi funzione della curva granulometrica e della pezzatura del materiale.

Il principio su cui si basa la prova è quello di determinare mediante pesate, la massa dopo essiccazione degli aggregati contenuti in uno specifico recipiente e di calcolarne la massa volumica in mucchio corrispondente. Si calcola inoltre la percentuale di vuoti intergranulari a partire dalla massa volumica in mucchio e dalla massa volumica reale delle particelle.

### Preparazione dei provini:

I provini devono essere ottenuti conformemente al prEN 932-2.

L'aggregato deve essere essiccato a  $(110\pm 5)$  °C fino al raggiungimento della massa costante.

Per quanto riguarda gli aggregati leggeri, dopo l'essiccamento a  $(110\pm 5)$ °C, lasciare, ove opportuno, che raggiungano un equilibrio di umidità a  $(23\pm 5)$ °C con un'umidità relativa del  $(50\pm 10)\%$ .

### Modalità d'esecuzione:

Partendo dal peso del recipiente vuoto, asciutto e pulito ( $m_1$ ) si colloca lo stesso su una superficie

orizzontale e lo si riempie fino all'orlo utilizzando la paletta avendo cura di ridurre al minimo la segregazione appoggiando la paletta sul bordo superiore.

Si rimuovono con attenzione l'aggregato in eccesso dalla parte superiore del recipiente assicurandosi

che la superficie sia regolare e si livellano la superficie superiore dell'aggregato con una riga facendo attenzione a non compattarla.

Dopodichè si pesa il recipiente pieno ( $m_2$ ) e si registra la sua massa arrotondandola allo 0,1% più

prossimo.

La massa volumica in mucchio di ciascun provino si ricava dalla formula:

$$\rho_m = \frac{m_2 - m_1}{V}$$

dove:

- $\rho_m$  è la massa volumica in mucchio del campione;
- $m_2$  è la massa del recipiente e del provino;
- $m_1$  è la massa del recipiente vuoto;
- $V$  è la capacità del recipiente.

Si determina inoltre la percentuale di vuoti intergranulari  $V$  (riportata in Tabella 4.11) che è la proporzione volumetrica dei vuoti nel recipiente e si calcola mediante l'equazione seguente:

$$V = \frac{\rho_m - \rho_a}{\rho_a} \times 100$$

dove:

- $\rho_m$  è la massa volumica in mucchio del campione;
- $\rho_a$  è la massa volumica apparente precedentemente determinata;

<b>MASSA VOLUMICA IN MUCCHIO EN 1097-3</b>					
<i>Campione</i>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>
<i>Peso lordo volumometro <math>m_2</math> [g]</i>	11115	11002	12467	9157	9760
<i>Tara volumometro <math>m_1</math> [g]</i>	3749	3749	3749	3749	3749
<i>Peso netto volumometro [g]</i>	7366	7253	8718	5408	6011
<i>Volume volumometro [cm<sup>3</sup>]</i>	5075	5075	5075	5075	5075
<i>Massa volumica in mucchio [g/cm<sup>3</sup>]</i>	1,451	1,429	1,718	1,066	1,184

**Tabella 4. 12:** Massa volumica in mucchio dei cinque campioni.

#### 4.10 MASSE VOLUMICHE (M.V.)

Le masse volumiche intese come parametri fisici, precedentemente determinate mediante una procedura normata, sono poi state raccolte nella seguente tabella riassuntiva con l'integrazione di un importante parametro quale la percentuale di vuoti intergranulari citata al paragrafo precedente.

I capitolati non forniscono valori di masse volumiche in quanto tale prova è più per controllo che per caratterizzazione fisica, anche se una massa volumica reale maggiore è indice in generale di una migliore resistenza del materiale

<b>MASSE VOLUMICHE</b>					
<i>Campione</i>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>
$\rho_r$ (massa volumica reale) [g/cm <sup>3</sup> ] EN 1097-7	2,710	2,679	3,796	2,705	2,716
$\rho_a$ (massa volumica apparente) [g/cm <sup>3</sup> ] EN 1097-6	2,577	2,573	3,611	2,366	2,443
$\rho_m$ (massa volumica in mucchio) [g/cm <sup>3</sup> ] EN 1097-3	1,451	1,429	1,718	1,066	1,184
<i>V</i> (% vuoti intergranulari) EN 1097-3	43,7	44,5	52,4	55,0	51,5

Tabella 4. 13: Quadro riassuntivo delle masse volumiche determinate.

#### 4.11 PROVA LOS ANGELES (L.A.)

La prova Los Angeles esprime le caratteristiche di resistenza degli inerti all'abrasione ed all'urto<sup>[25]</sup>.

Il materiale trattato, in base ai risultati ottenuti viene catalogato secondo quanto previsto dalla norma UNI EN 13242, nelle classi riportate nella Tabella 4.13.

<b>Coefficiente Los Angeles</b>	<b>Categoria LA</b>
≤ 20	LA <sub>20</sub>
≤ 25	LA <sub>25</sub>
≤ 30	LA <sub>30</sub>
≤ 35	LA <sub>35</sub>
≤ 40	LA <sub>40</sub>
≤ 50	LA <sub>50</sub>
≤ 60	LA <sub>60</sub>
> 60	LA Dichiarato
Nessun requisito	LA <sub>NR</sub>

**Tabella 4. 14:** Categorie dei valori massimi dei coefficienti Los Angeles.

La norma che esplica la procedura da seguire ed a cui si è fatto riferimento è la **UNI 1097-2**, recepimento della EN 1097-2 (aprile 1998) e del suo aggiornamento A1 (luglio 2006) e fornisce due schemi di prova per la determinazione della resistenza alla frammentazione degli aggregati grossi:

- prova Los Angeles (metodo di riferimento);
- prova d'urto.

Si introduce la nozione di coefficiente Los Angeles LA: si tratta della percentuale di campione di prova passante attraverso uno staccio da 1,6 mm, riportato in Figura 4.15 a prova completata.

Il campione da cui estrarre la porzione di prova è di almeno 15 kg di particelle con granulometria compresa tra 10 mm e 14 mm. Quindi una stacciatura iniziale è necessaria per eliminare le particelle fuori da tale intervallo. Inoltre almeno uno dei seguenti due requisiti è richiesto:

- percentuale di materiale passante allo staccio da 12,5 mm compresa tra 60% e 70%;
- percentuale di materiale passante allo staccio da 11,2 mm compresa tra 30% e 40%.

Per soddisfare tale ulteriore requisito bisogna vagliare il materiale con stacci da 10 mm, 11,2 mm (o 12,5 mm), e 14 mm per ottenere le relative frazioni granulometriche 10 – 11,2 mm (oppure 10 – 12,5 mm) e 11,2 – 14 mm (oppure 12,5 – 14 mm).

Il trattenuto al setaccio 12 ASTM viene lavato ed essiccato in stufa a  $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$  fino a massa costante, quindi miscelato nuovamente.

Le indicazioni su come ridurre il campione il campione di prova fino alla porzione di  $5000 \pm 5$  g, sono state prese dalla EN 932-2.

La porzione di prova deve essere introdotta all'interno di uno specifico cilindro cavo in acciaio profilato chiuso ad entrambe le estremità. Il cilindro internamente possiede una mensola sporgente di lunghezza pari a quella del cilindro stesso, collocata su un piano diametrale lungo una generatrice e fissata saldamente.

All'interno del cilindro, che dovrà ruotare su un asse orizzontale, assieme al materiale verranno immesse 11 sfere di acciaio dal peso complessivo compreso tra i 4690 g e i 4860 g.

Una volta verificato che il cilindro sia pulito internamente e inseriti materiale e carica macinante si fanno compiere alla macchina 500 giri. Il numero di giri del cilindro è pari a  $31 \div 33$  giri/min. Terminata questa fase l'aggregato viene versato su un vassoio in prossimità dell'apertura inferiore della macchina; tutti i fini dovranno essere rimossi con cura.

Dal vassoio si procederà ad eliminare le sfere. Il materiale risultante verrà lavato e vagliato con uno staccio da 1,6 mm.

Il trattenuto verrà essiccato a  $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$  fino a massa costante.

Da qui, si elabora il risultato della prova espresso in termini di *coefficiente Los Angeles* espresso in percentuale nella forma:

$$\text{L.A.} = \frac{5000 - m}{50}$$

Dove:

- m è il peso del campione a fine prova trattenuto al setaccio da 1,6 mm.



Figura 4. 15: a) setaccio 12 ASTM con diametro fori di 1,6 mm; b) Campione sottoposto a prova Los Angeles.



Figura 4. 16: Cilindro rotante e sfere metalliche impiegate come massa abrasiva nella prova Los Angeles.

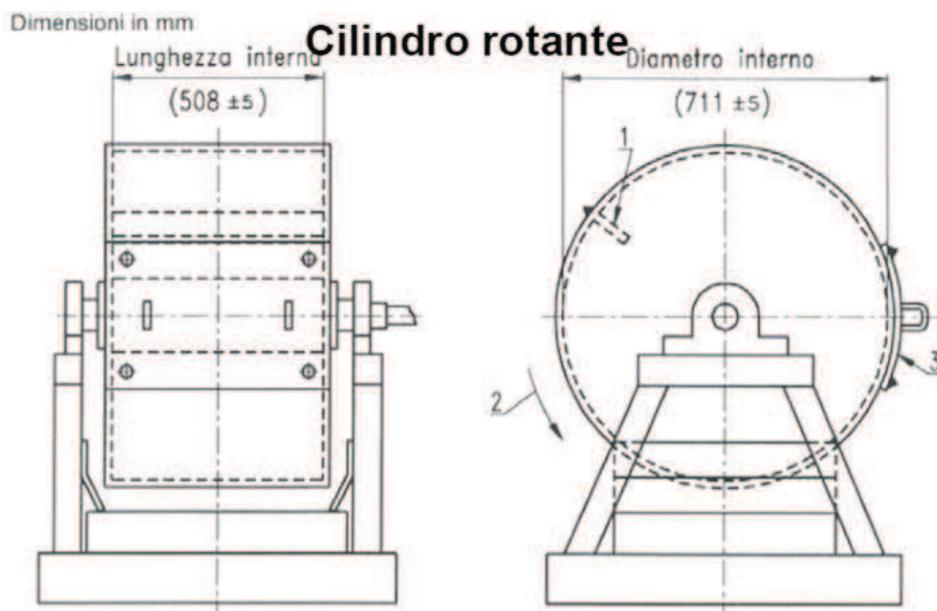


Figura 4. 17: Dimensioni del cilindro impiegato per la frantumazione nella prova Los Angeles.

La prova Los Angeles è stata utilizzata anche per valutare la sensibilità al gelo degli aggregati trattati. In questa variante si parla di prova Los Angeles *geliva*.

La prova consiste nel sottoporre i campioni sottoposti preventivamente a saturazione a 20 cicli termici con temperature alternate tra  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  e  $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ .



Figura 4. 18: Due dei cinque campioni in fase di saturazione per la prova Los Angeles geliva.

Risultati e conclusioni:

I risultati ottenuti dalle prove per i campioni in fase di studio, ad esclusione del D (sand matrix) il quale non aveva granulometria idonea alla prova, sono stati raggruppati nelle tabelle seguenti.

<b>LOS ANGELES (NON GELIVA) (L.A.ng)</b>			
<i>Campione</i>	<i>Miniziale [g]</i>	<i>Mfinale [g]</i>	<i>L.A. [%]</i>
<b>A</b>	5000,0	3440,0	31,20
<b>B</b>	5000,0	3228,2	35,44
<b>C</b>	5000,0	4034,5	19,31
<b>D</b>	N.D.	N.D.	N.D.
<b>E</b>	5000,0	2735,4	45,29

**Tabella 4. 15:** Risultati della prova Los Angeles non geliva.

<b>LOS ANGELES (GELIVA) (L.A.g)</b>			
<i>Campione</i>	<i>Miniziale [g]</i>	<i>Mfinale [g]</i>	<i>L.A. [%]</i>
<b>A</b>	5000,0	3355,2	32,90
<b>B</b>	5000,0	3209,0	35,82
<b>C</b>	5000,0	4057,7	18,85
<b>D</b>	N.D.	N.D.	N.D.
<b>E</b>	5000,0	2700,2	46,00

**Tabella 4. 16:** Risultati della prova Los Angeles geliva.

Dal confronto con i valori da capitolato, i quali impongono un valore massimo della prova pari al 30% di perdita del peso, i materiali A e B risultano quasi al limite dell'accettabilità, il C risulta idoneo, mentre l'E evidenzia una inadeguatezza in quanto composto da inerti eccessivamente frammentabili.

Dal raffronto con la prova geliva si sono riscontrate differenze di perdite in peso variabili da una percentuale minima di 0,38 (campione B) ad una massima di 1,70 (campione A) mentre è singolare il comportamento del campione C che migliora la risposta a questa prova riducendo i valori di perdita in peso.

A fronte di una richiesta da capitolato che non supera l'1% di differenza tra le perdite in peso ricavate con le due prove, ne consegue che tutti i materiali ad eccezione dell'A rispondono ai requisiti richiesti.

### 4.12 EQUIVALENTE IN SABBIA (S.E.)

La norma **UNI EN 933-8** stabilisce un metodo di determinazione del valore di equivalenza in sabbia della classe granulometrica 0 - 2 mm negli aggregati fini e in quelli misti<sup>[26]</sup>.

La norma costituisce il recepimento della EN 933-8 (marzo 1999).

Prima di procedere alla spiegazione della procedura di prova è importante definire il concetto di “aggregato fine”: si tratta formalmente del materiale che passa allo staccio da 0,063 mm.

La massa della porzione di prova è determinata in funzione dell'umidità secondo l'espressione:

$$m = 120 * \frac{(100 + w)}{100}$$

Dove:

- $m$  è la massa della porzione di prova, espressa in grammi;
- $w$  è l'umidità relativa.

Il procedimento prevede che la porzione di prova e una piccola quantità di soluzione flocculante siano versati in due cilindri graduati. Tali cilindri vengono lasciati riposare per 10 minuti e poi agitati per 30 secondi; in seguito, essi vengono nuovamente irrorati con la soluzione flocculante e fatti riposare per ulteriori 20 min.

Terminato il periodo di riposo, per ogni cilindro, viene dapprima misurata l'altezza  $h_1$  del flocculato, come mostra la Figura 4.18, ed in seguito, attraverso un apposito stantuffo, viene ricavata l'altezza del sedimento  $h_2$ .

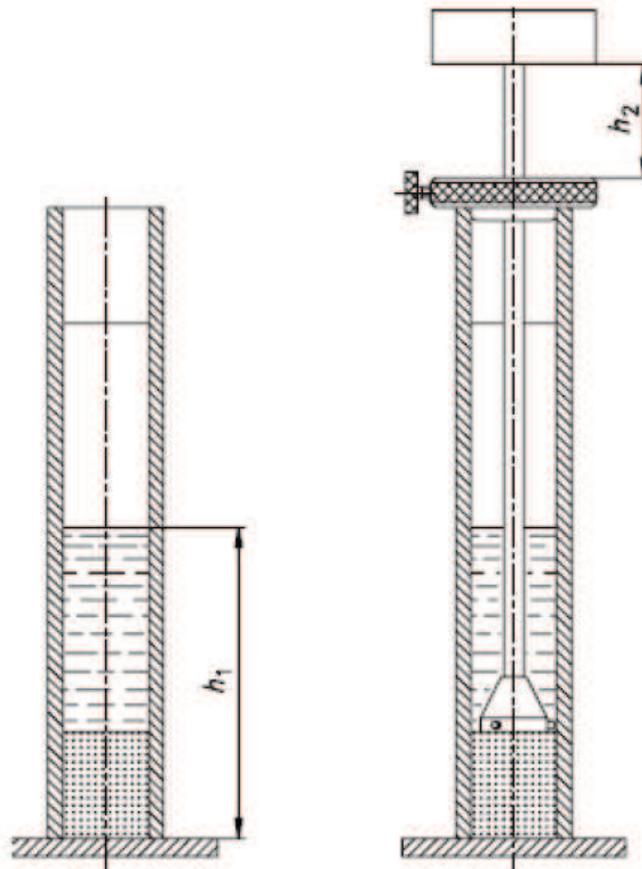


Figura 4. 19: Altezze significative per la prova dell'equivalente in sabbia.

I valori dell'equivalente in sabbia per ogni cilindro graduato vengono quindi restituiti attraverso l'espressione:

$$SE = \frac{h_2}{h_1} * 100$$

dove:

- $h_1$  è l'altezza del materiale flocculato nel cilindro graduato, espressa in centimetri;
- $h_2$  è l'altezza del sedimento, espressa in centimetri.

e, nel caso in cui non differiscano di oltre 4 unità, la loro media viene dichiarata sull’etichetta di marcatura CE, in accordo con quanto previsto nella norma UNI 13242.

Risultati e conclusioni:

<b><i>EQUIVALENTE IN SABBIA (S.E.)</i></b>				
<i>Campione</i>	<i>h1 [cm]</i>	<i>h2 [cm]</i>	<i>E.S. [%]</i>	<i>E.S. media [%]</i>
<b>A</b>	13,25	5,00	37,74	37,39
	13,50	5,00	37,04	
<b>B</b>	13,25	3,50	26,42	27,36
	13,25	3,75	28,30	
<b>C</b>	11,50	9,00	78,26	76,89
	12,25	9,25	75,51	
<b>D</b>	14,00	6,25	44,64	46,88
	14,25	7,00	49,12	
<b>E</b>	14,50	8,25	56,90	57,69
	13,25	7,75	58,49	

**Tabella 4. 17:** Risultati della prova dell’equivalente in sabbia.

Rifacendosi a quanto prescritto nel capitolato di “Concessioni Autostradali Venete S.p.a.” solo il campione C non risulta soddisfare le richieste; mentre, valutando gli esiti della prova anche sulla base degli altri (più stringenti) risultano **non** soddisfacenti rispettivamente i campioni A, B e D, se riferiti al capitolato di “Autostrade per il Brennero S.p.a.” ed i campioni A e B se riferiti al capitolato di “ANAS S.p.a.”

Non soddisfa i requisiti solo il materiale B nel caso invece che ci riferiamo al capitolato della provincia autonoma di Trento che impone 30% come limite

Considerazioni finali:

Con le prove di pre-qualifica si è dato un quadro sufficientemente completo di quelle che sono le caratteristiche fisiche dei materiali di base studiati.

Si è quindi proceduto alla creazione di alcune miscele secondo due criteri principali:

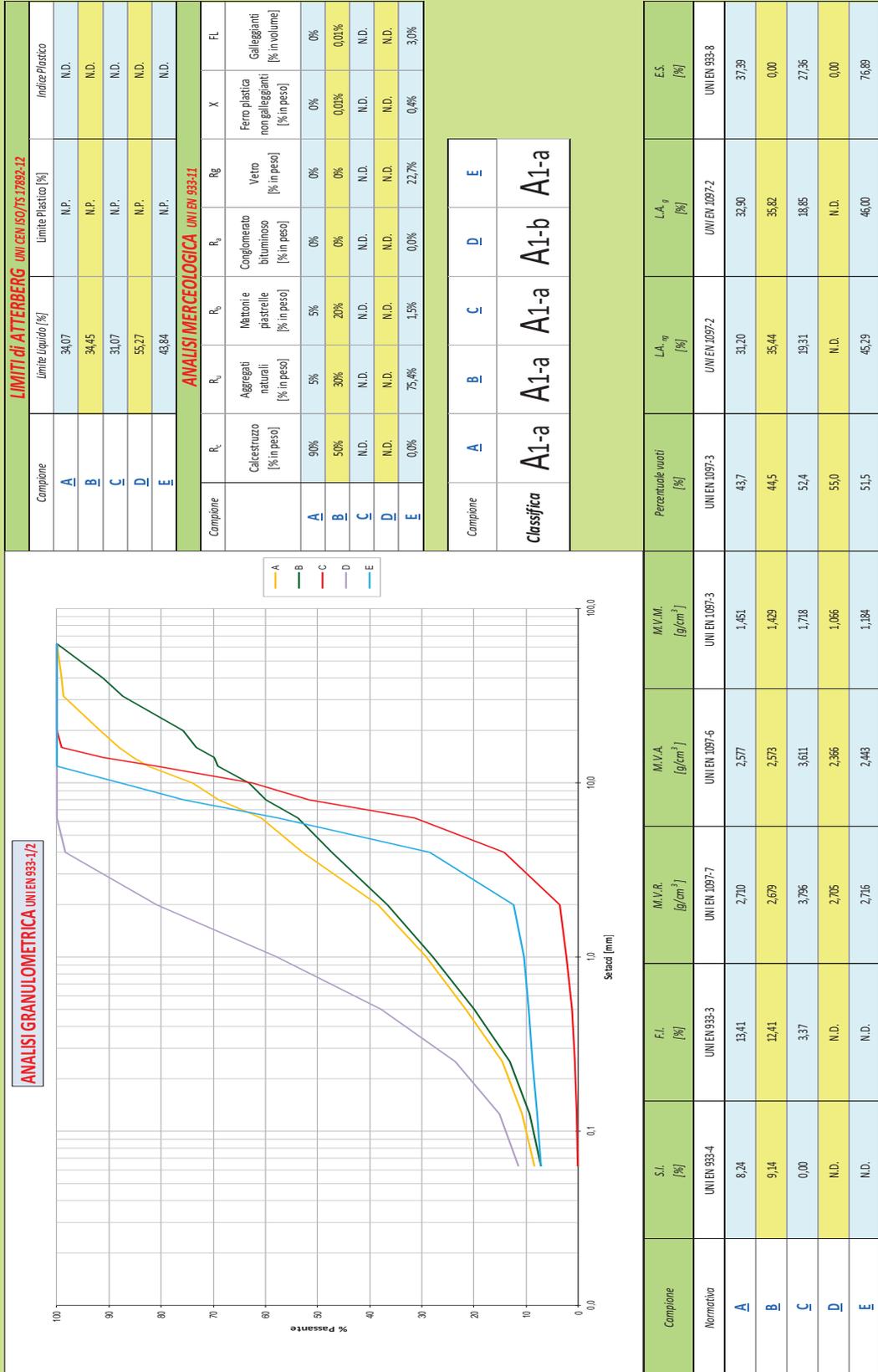
- da un lato si è cercato di soddisfare in maniera più ampia i requisiti dei capitolati, principalmente sulle richieste granulometriche,
- dall'altro permettere di utilizzare materiali più scadenti e di difficile smaltimento come il De l'E cercando di incrementare le prestazioni con l'aggiunta di materiali più performanti, anche se comunque riciclati.

Si è quindi proceduto con una caratterizzazione anche dal punto di vista meccanica di tale miscela, la quale sarà trattata nel prossimo capitolo.

### **4.13 SPECCHIETTO RIASSUNTIVO MATERIALI DI PARTENZA**

Di seguito viene riportato uno specchietto riassuntivo in cui sono inseriti tutti i risultati ottenuti dalle varie prove, in oltre è stata anche inserita la classifica dei terreni considerati secondo la normativa CNR – UNI 10006

PREQUALIFICA MATERIALI STUDIATI





## CAPITOLO 5

# MISCELE NON LEGATE E PROVE DI LABORATORIO

### 5.1 INTRODUZIONE

In questo capitolo si descriveranno le tre miscele ottenute dai cinque campioni di partenza e sulle quali si sono eseguite prove per la caratterizzazione meccanica e si commenteranno i risultati ottenuti dalle prove.

Lo studio delle tre miscele per strati da rilevato, fondazione e base non legati è stato compiuto eseguendo dapprima l'individuazione dei fusi granulometrici di riferimento in base a quanto previsto dai capitolati tecnici considerati (Autostrade per il Brennero, Concessioni Autostradali Venete, A.n.a.s.); sono stati selezionati i materiali tra essi miscelabili e si sono realizzate le tre miscele di tentativo chiamate X,Y,Z per le quali si è valutata l'umidità ottimale per la compattazione; si è poi proceduto con l'esecuzione dell'analisi granulometrica per l'addensamento ottimale sia prima che dopo la compattazione con metodologia Proctor.

Lo studio delle tre miscele non legate è poi terminato con l'esecuzione della prova di portanza (CBR) per determinare l'indice di portanza delle stesse.

Quest'ultimo è stato determinato sia su campioni non saturi lasciati a maturare all'aria per sette giorni, sia su campioni sottoposti a saturazione tramite permanenza in una vasca colma d'acqua per quattro giorni, e sui quali si è di conseguenza verificato un rigonfiamento.

<i>MISCELA X</i>	<i>MISCELA Y</i>	<i>MISCELA Z</i>
50% A; 50%B	60% B; 40% C	70% B, 30% E

**Tabella 5. 1:** Composizione delle miscele non legate.

Prima di discutere i risultati ottenuti, al fine di una migliore comprensione dei risultati si descrivono le procedure adottate per la compattazione e per la determinazione dell'indice di portanza.

### 5.1.1 Prova Proctor

La prova Proctor è una delle tecniche di costipamento in laboratorio che si pone l'obbiettivo di simulare il costipamento che i terreni possono subire in sito valutando l'influenza del contenuto d'acqua sullo stesso.

La normativa di riferimento per l'esecuzione della prova è la **UNI EN 13286-2** del 2005.

È una prova dinamica (o di urto) che si applica sui terreni mediante l'utilizzo di un pestello meccanico<sup>[27]</sup>.

Interessa in particolare, determinare la massa volumica massima ottenibile per costipamento ed il corrispondente livello di umidità detto di *umidità ottima*.

L'attrezzatura per le prove Proctor è costituita da un cilindro metallico di dimensioni standard dotato di un collare rimovibile e da un pestello di diametro e peso normati.

In relazione alle caratteristiche dell'apparecchiatura ed alle modalità di esecuzione, la prova si distingue in "standard" e "modificata".



Figura 5. 1: Apparecchiatura meccanica per la costipazione Proctor.

L'energia di costipamento della prova modificata, che viene eseguita soprattutto per terreni di sottofondo e materiali per pavimentazioni stradali e aeroportuali, è superiore a quella della standard.

La prova Proctor viene eseguita disponendo a strati una certa quantità di terreno, preventivamente essiccata e successivamente inumidita con una percentuale certa di acqua, nel cilindro e compattandola con il pestello per un numero prefissato di colpi (56), assestati in una posizione prestabilita.

L'operazione viene ripetuta per un certo numero di strati (3 per la standard e 5 per la modificata) fino a riempire il cilindro poco al di sopra dell'attaccatura col collare.

Successivamente viene rimosso il collare, livellato il terreno in sommità, pesato il tutto e controllato il contenuto d'acqua, tramite essiccazione in stufa di un campione.



**Figura 5. 2:** Fasi successive della compattazione: a) riempimento graduale del cilindro in fase di costipamento, b) costipamento meccanico, c) livellamento del campione in sommità, d) pesatura del campione.

Mediante il peso e il volume della fustella, noti a priori, ed il peso del materiale contenuto, si ricava il peso di volume. Conoscendo il contenuto d'acqua  $w$ , si può ricavare la densità secca ( $\gamma_d$ ) secondo la formula:

$$\gamma = \frac{P}{V} = \frac{P_s + P_w}{V} = \frac{P_s}{V} + \frac{P_w}{V} \cdot \frac{P_s}{P_s} = \gamma_d + w \cdot \gamma_d = \gamma_d(1 + w)$$

da cui:

$$\gamma_d = \frac{\gamma}{1 + w}$$

Come anticipato, in funzione dell'energia di costipamento e del numero di strati da apporre gradualmente nella fustella, la prova Proctor viene differenziata in standard o AASHO modificata (dove AASHO è l'acronimo di American Association of State Highway and Transportation Officials). I parametri che differenziano le due prove sono riportati in Tabella 5.2.

	metodo	fustella(cmc)	mazza (Kg)	caduta libera (cm)	colpi per strato	numero degli strati	energia di costipamento
Proctor normale	ASTM D-698-70	A 943 (1/30 di piede cubo)	2,495 (5,5 libbre)	30,48 (12 pollici)	25	3 (3 cm c.u.)	6,05 kgcm/cmc
	AASHO T-99-61	B 2132 (1/13,33 di piede cubo)			56		6,02 kgcm/cmc
		C 943 (1/30 di piede cubo)			25		6,05 kgcm/cmc
		D 2132 (1/13,33 di piede cubo)			56		6,02 kgcm/cmc
Proctor modificato	ASTM D-1557-70	A 943 (1/30 di piede cubo)	4,536 (10 libbre)	45,72 (18 pollici)	25	5 (5 cm c.u.)	27,49 kgcm/cmc
	AASHO T-180-74	B 2132 (1/13,33 di piede cubo)			56		27,35 kgcm/cmc
		C 943 (1/30 di piede cubo)			25		27,49 kgcm/cmc
		D 2132 (1/13,33 di piede cubo)			56		27,35 kgcm/cmc

Tabella 5. 2: Caratteristiche dell'apparecchiatura e modalità di esecuzione della prova Proctor standard e modificata.

Analizzando i risultati ottenuti in laboratorio mediante l'esecuzione di prove Proctor è possibile descrivere l'andamento del costipamento in funzione dell'umidità del campione.

Supponendo di eseguire la prova Proctor su alcuni campioni dello stesso terreno aventi diversi contenuti d'acqua, se, per ciascun campione, riportiamo in un grafico il valore della densità secca ottenuta al termine della prova, in funzione del contenuto d'acqua corrispondente, e uniamo i vari punti, otteniamo una curva, detta **curva di costipamento** o **curva Proctor** che presenta un tipico andamento a campana.

Il valore del contenuto d'acqua corrispondente al valore massimo del peso di volume del secco (detto *maximum*) è indicato come *optimum Proctor* o *umidità ottima*.

Poiché il valore massimo del peso di volume del secco è relativo ad un valore di energia prefissato, per un dato terreno, l'optimum, il maximum e l'andamento della curva dipendono dall'energia spesa e dal metodo di costipamento.

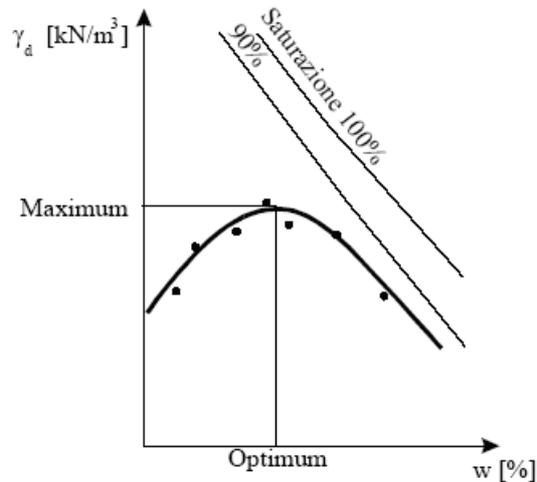


Figura 5. 3: Esempio di curva di costipamento.

Incrementando il contenuto d'acqua, la resistenza del terreno tende a diminuire, facilitando la rimozione dei vuoti, ed aumenta così il valore di densità secca raggiungibile, fino al maximum ottenuto in corrispondenza del valore di optimum del contenuto d'acqua; per valori superiori all'optimum, avendo raggiunto un elevato grado di saturazione, le deformazioni avvengono pressoché a volume costante e non consentono ulteriori riduzioni dell'indice dei vuoti, per cui si riduce anche il valore della densità secca ottenuto.

Se per uno stesso tipo di terreno si utilizza la stessa tecnica di costipamento variando l'energia (il numero di colpi), si ottiene una famiglia di curve con andamento simile.

Al crescere dell'energia aumenta la densità secca massima e diminuisce il contenuto d'acqua optimum.

Con contenuti d'acqua superiori all'optimum le diverse curve tendono a confondersi in un'unica linea (Figura 5.4).

Questo significa che per contenuti d'acqua inferiori all'optimum un aumento dell'energia di costipamento risulta più efficace in quanto riesce ad incrementare la densità secca (cosa che può non accadere per contenuti d'acqua superiori all'optimum).

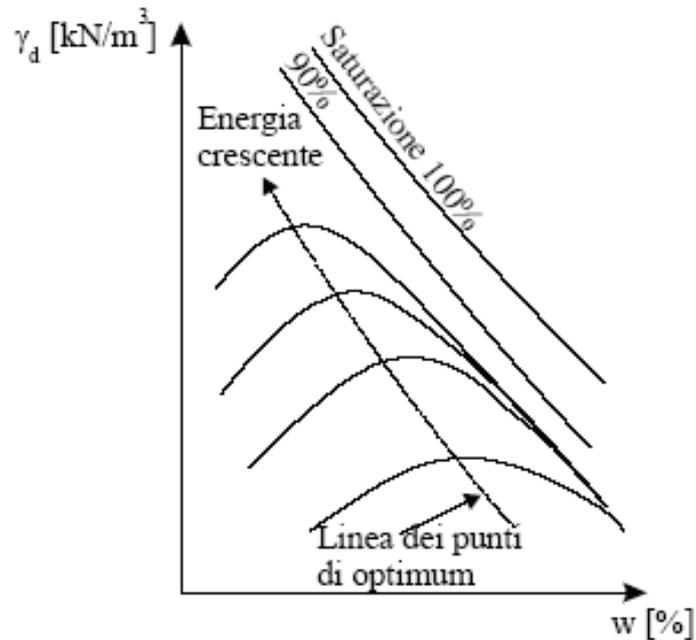


Figura 5. 4: Andamento della curva di costipamento al variare dell'energia di costipamento.

### 5.1.2 Prova di portanza CBR

Per le modalità di esecuzione di tale prova si fa riferimento alla norma UNI EN 13286-47 del 2004, anche la UNI 10009 descrive il procedimento in maniera molto simile: in entrambi i casi si tratta di una prova a gradiente di velocità di carico costante.

L'indice di portanza californiano (CBR) di una terra è il rapporto, espresso in percentuale, fra il carico necessario a far penetrare un pistone di dimensioni normate all'interno di un provino confinato in una fustella metallica ed un carico di riferimento, e può essere usato come un coefficiente di qualità della terra in date condizioni <sup>[28]</sup>.

La prova consiste nel far penetrare a velocità costante di circa 1,27 mm/min un pistone cilindrico del diametro di 49,6 mm entro un provino contenuto in uno stampo cilindrico metallico del diametro di 152,4 mm di seguito rappresentato.

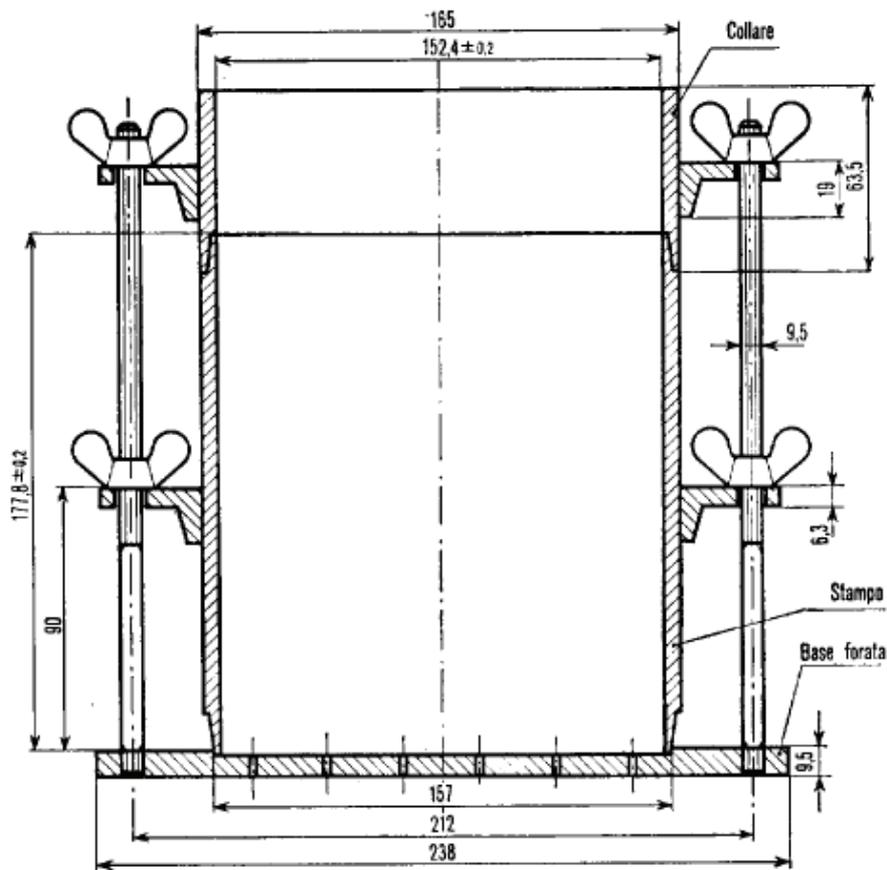


Figura 5. 5: Stampo cilindrico utilizzato per la prova CBR.

Come profondità di penetrazione si adottano rispettivamente 2,5 e 5 mm e come carichi di riferimento, rispettivamente 1360 e 2040 kg; il maggiore dei due rapporti della prova individua l'indice di portanza CBR.

La prova può essere eseguita su campioni indisturbati (CBR indisturbato) o su campioni confezionati in laboratorio ( in tal caso si parla di CBR di laboratorio) a prestabilite condizioni di umidità e densità.

I provini possono essere sottoposti ad imbibizione in acqua prima della prova, in tal caso si avrà il CBR dopo imbibizione. Ciò al fine di valutare il decadimento prestazionale dovuto alla presenza di acqua.

Le apparecchiature necessarie all'esecuzione della prova sono:

- lo stampo cilindrico metallico completo di base forata con fori di 1,6 mm e di collare di prolunga alle estremità dello stampo, rappresentato in Figura 5.5 e di disco spaziatore per poter confezionare il provino;
- una pressa meccanica o idraulica ad azione continua, di portata non inferiore a 4000 kg, con dispositivo che permetta di realizzare una velocità di penetrazione costante del pistone di circa 1,27 mm/min munita di un apparato che consenta di applicare un carico iniziale di assestamento di circa 5 kg e di un dispositivo che consenta di misurare la penetrazione del pistone nel provino durante la prova;
- nel caso si esegua anche la prova su campioni saturi bisogna utilizzare, per la misura dei rigonfiamenti del campione, un dispositivo costituito da una piastra metallica forata con fori da 1,6 mm e gambo di altezza regolabile e da un treppiede porta comparatore munito a sua volta di comparatore centesimale.



**Figura 5. 6:** Particolare dei campioni di miscele a prova eseguita con l'evidente abbassamento causato dal pistone.



**Figura 5. 7:** Fasi successive della prova CBR: a) preparazione di un provino, b) posizionamento del provino nella pressa, c) provino in fase di compressione, d) particolare del provino in compressione.

Come già riportato, la stessa prova è stata effettuata anche sui campioni posti prima nella vasca di saturazione e per i quali sono anche stati registrati i rispettivi rigonfiamenti.

Nella sequenza fotografica che segue vengono illustrate le fasi di preparazione dei provini alla saturazione, così come prescritto dalla normativa di riferimento.

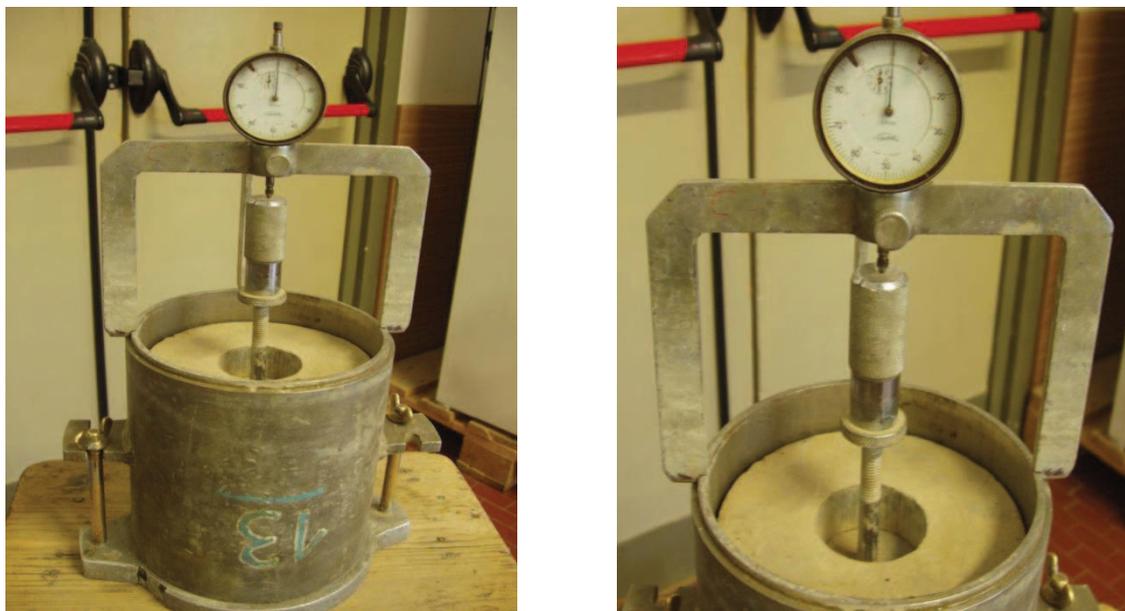


Figura 5. 8: Messa in posa del treppiede con comparatore centesimale ed azzeramento dello strumento.



Figura 5. 9: Messa a dimora dei campioni nel bacino di saturazione.

## 5.2 VALUTAZIONE DEI FUSI GRANULOMETRICI

Dopo aver esplicitato la metodologia di svolgimento delle prove per la caratterizzazione meccanica delle miscele, si passerà alla valutazione dei fusi granulometrici dei capitolati tecnici presi in esame e si confronteranno le curve granulometriche ammesse con quelle caratteristiche di ogni miscela onde appurare l'adeguatezza della pezzatura delle stesse.

Tali fusi verranno espressi in funzione della **UNI EN 933-1**

Come già trattato nel capitolo 3, in cui si elencavano le caratteristiche prestazionali richieste dagli enti, che i materiali devono soddisfare, si riportano raggruppati in seguito i fusi granulometrici degli enti esaminati, per una loro più rapida individuazione.

Come si può notare dalla Tabella 5.3, i diametri dei setacci utilizzati sono analoghi, per quanto riguarda i diametri minimi e massimi, mentre cambia da ente ad ente la precisione con cui viene definita la curva, dove, con il termine precisione si intende un maggior dettaglio delle granulometrie intermedie.

Indipendentemente da ciò è evidente che tutti gli enti necessitano di materiale passante al setaccio da 63 mm per la sua totalità e consentono la presenza di fine (passante al setaccio da 0,063 mm) in piccole percentuali (da un minimo del 2% ad un massimo del 12%).

<b>FUSI GRANULOMETRICI</b>								
<b>Fuso Autostrada Brennero</b>			<b>Fuso ANAS</b>			<b>Fuso Autostrade Venete</b>		
<i>Diam. (mm)</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>	<i>Diam. (mm)</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>	<i>Diam. (mm)</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>
63	100	100	63	100	100	63	100	100
40	100	100	40	84	100	40	88	100
31,5	85	99	20	70	92	20	62	90
16	50	78	14	60	85	8	35	69
8	31	60	8	46	72	4	23	53
4	18	46	4	30	56	2	15	40
2	10	35	2	24	44	0,5	8	24
1	6	26	0,25	8	20	0,063	2	10
0,5	4	20	0,063	6	12			
0,063	2	5						

Tabella 5. 3: Fusi granulometrici ammessi dagli enti esaminati.

<b>FUSI GRANULOMETRICI</b>					
<b>Fuso provincia di Trento</b>			<b>Fuso regione Toscana</b>		
<i>Diam. (mm)</i>	<i>LIMITI (passante%)</i>		<i>Diam. (mm)</i>	<i>LIMITI (passante%)</i>	
	<i>min</i>	<i>max</i>		<i>min</i>	<i>max</i>
			63	100	100
40	100	100	31,5	75	100
20	61	79	16	50	82
10	41	64	10	35	70
4	31	49	4	22	50
2	22	36	2	15	40
1	13	30	0,5	8	25
0,5	10	20	0,125	5	15
0,063	0	10	0,063	2	10
0,5/0,063	> 1,5		0,5/0,063	> 2/3	

Tabella 5. 4: Fusi granulometrici ammessi dagli enti esaminati.

Data la richiesta iniziale del committente di trovare impiego per i materiali di scarto introdotti nei capitoli precedenti si è cercato di creare miscele composte esclusivamente da questi materiali. Tali curve potrebbero essere ulteriormente migliorate con l'aggiunta di materiale vergine.

Le miscele composte hanno dovuto innanzitutto soddisfare i fusi granulometrici prima di poter essere valutate anche dal punto di vista delle qualità meccaniche.

In seguito viene riportato come le granulometrie di cui sono composte le tre miscele rientrano nei fusi previsti, ad esclusione di "Autostrade per il Brennero S.p.a."

In laboratorio si è proceduto alla determinazione delle percentuali del passante e del trattenuto ad ogni setaccio, per ogni miscela differenziata per tipo di inerte di partenza (A,B,C,D,E,) di cui è composta, ed alla valutazione di come la curva granulometrica della singola miscela asseconda i fusi degli enti.

Nelle figure che seguono sono stati messi in risalto i diversi fusi (definiti da una curva massima e una minima) con colori diversi e la posizione della curva rappresentativa della miscela trattata, nei loro confronti (tracciata in verde).

Come si può notare, le miscele X e Z appaiono ben distribuite, mentre la miscela Y, comunque abbastanza uniforme, evidenzia una minor presenza di materiali di pezzatura superiore ai 31,5 mm rispetto agli altri due, corrispondente ad una maggior percentuale di passante ai setacci di diametro elevato.

Per non appesantire troppo i grafici non sono state inserite le curve di Trento e Toscana in quanto meno restringenti rispetto alle altre

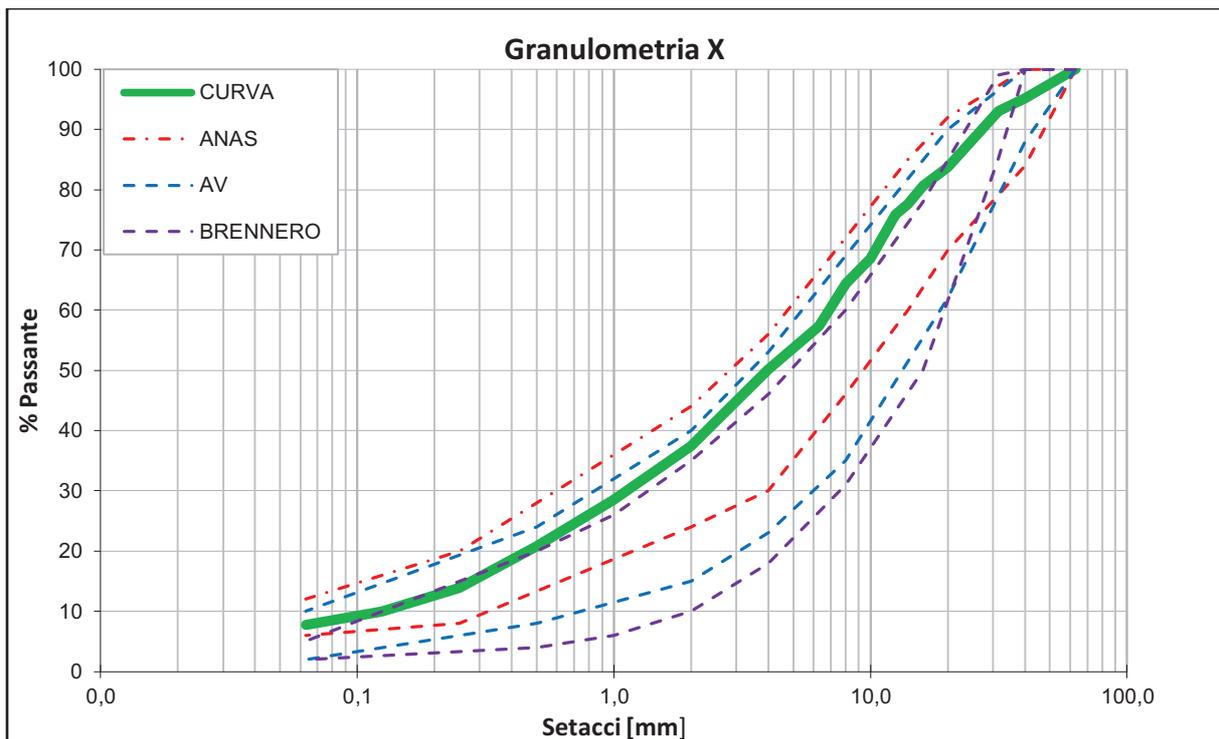


Figura 5. 10: Curva granulometrica della miscela X.

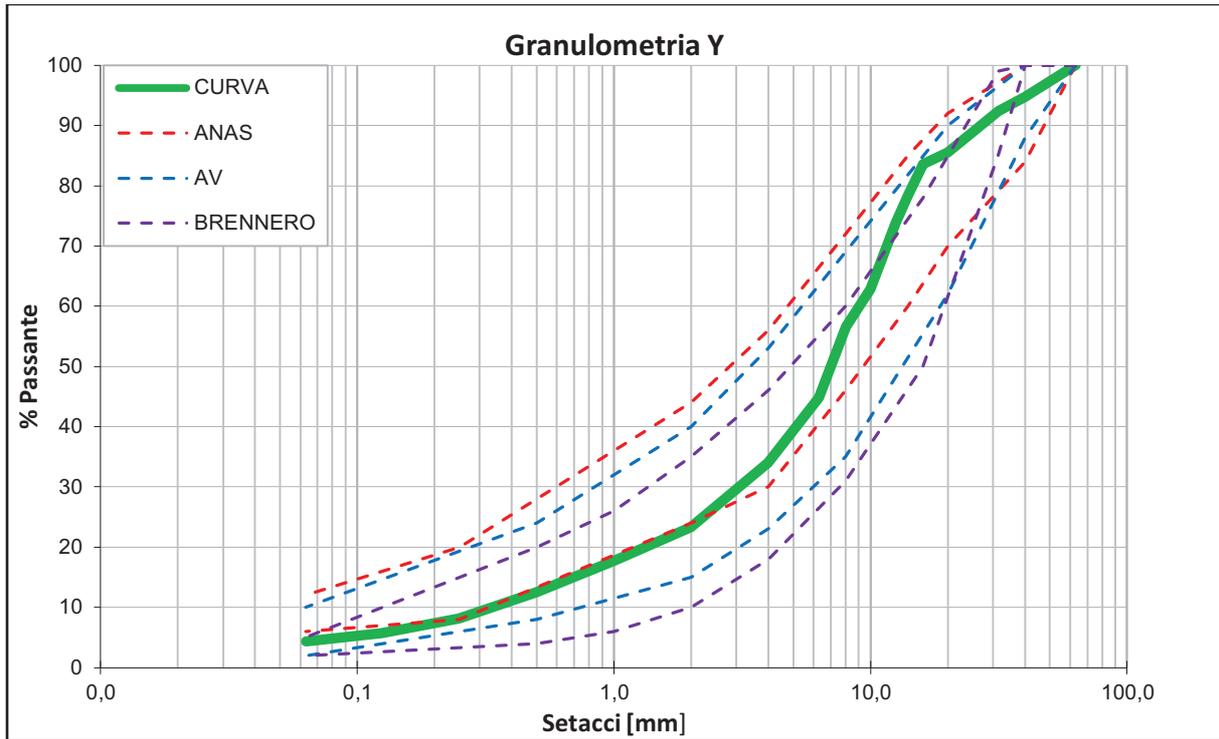


Figura 5.11: Curva granulometrica miscela Y.

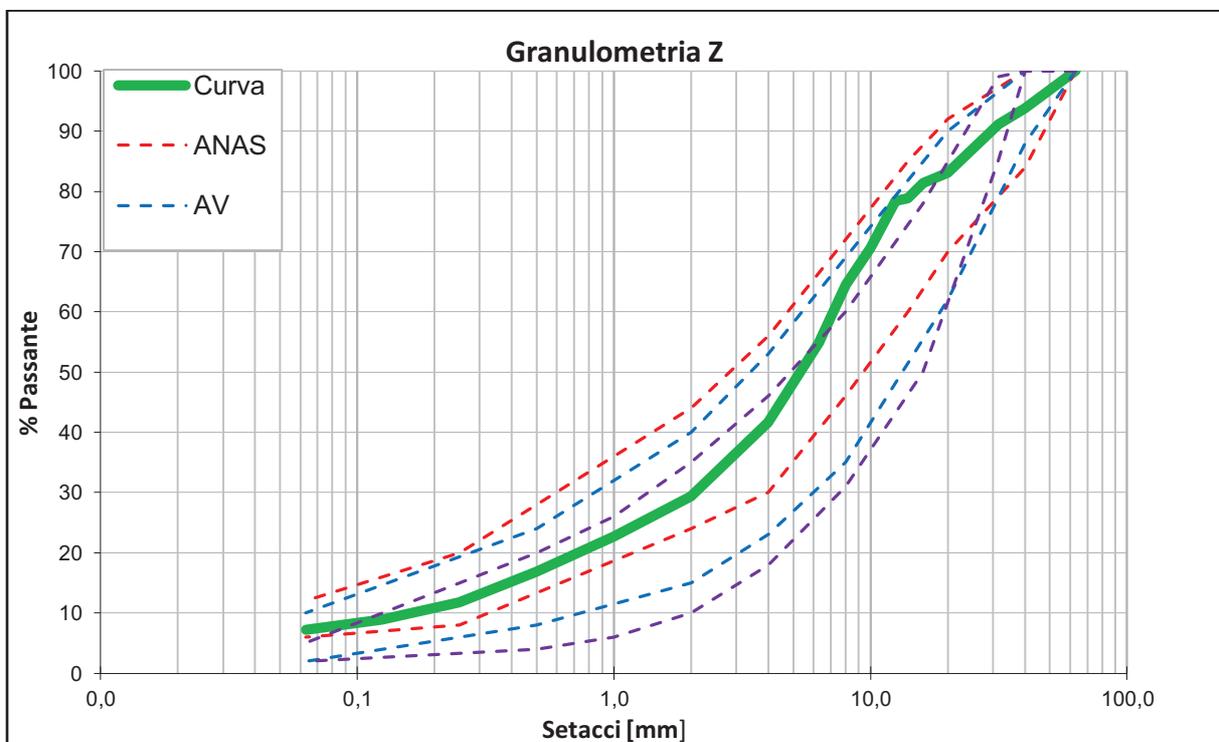


Figura 5.12: Curva granulometrica miscela Z.

### 5.3 ESITI DELLA PROVA PROCTOR

In ottemperanza a quanto previsto dalla normativa di riferimento **UNI EN 13286-2**, in laboratorio si è quindi proceduto a determinare l'andamento della densità ( $\gamma_d$ ) in funzione della percentuale di acqua presente nel campione.

I risultati attesi hanno rispecchiato quanto esposto nel paragrafo 5.1.1, infatti per tutti i campioni si è ottenuta una curva di costipamento con andamento a campana come illustrato nei grafici e come riassunto nella Tabella 5. 4.

<b><i>COSTIPAMENTO - AASHO</i></b>					
<i>Miscela non legata X</i>		<i>Miscela non legata Y</i>		<i>Miscela non legata Z</i>	
<i>Densità secca massima [g/cm<sup>3</sup>]</i>	1,981	<i>Densità secca massima [g/cm<sup>3</sup>]</i>	2,150	<i>Densità secca massima [g/cm<sup>3</sup>]</i>	1,906
<i>Umidità ottimale [%]</i>	10,9	<i>Umidità ottimale [%]</i>	9,4	<i>Umidità ottimale [%]</i>	10,4

**Tabella 5. 5:** Risultati del costipamento AASHO modificato.

I risultati sopra riportati derivano da interpolazione dei dati di laboratorio e dall'estrazione dei valori massimi visualizzati in Figura 5.13

Tali risultati ottenuti serviranno per effettuare un controllo in campo sul livello di costipamento raggiunto.

Per tutti e tre i campioni è emerso che l'umidità ottimale, corrispondente al massimo valore di densità secca si attesta mediamente attorno a valori del 10%.

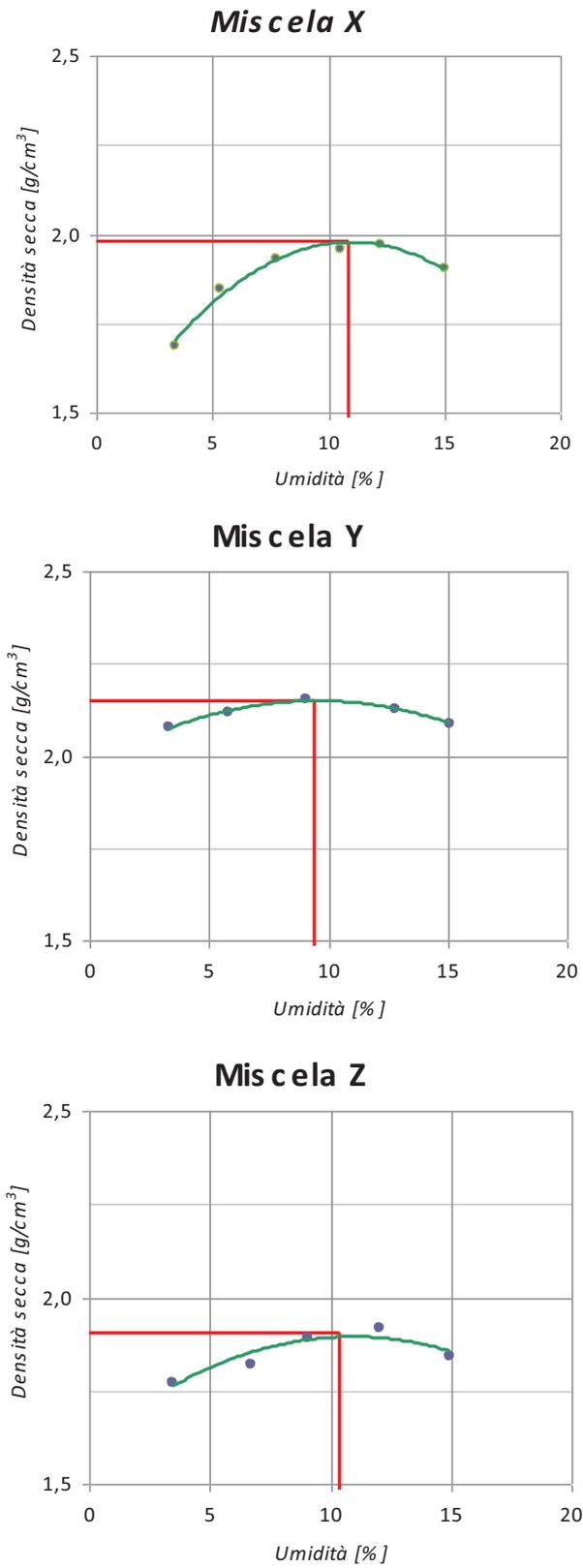


Figura 5. 13: Curve Proctor delle tre miscele.

## 5.4 GRANULOMETRIA PRE E POST COMPATTAZIONE

Al fine di valutare la variazione granulometrica dei materiali in esame, è stata eseguita una seconda analisi per vagliatura anche dopo la prova di costipazione Proctor, ed è stata poi messa a confronto con la stessa curva ricavata prima della prova (che si ricorda essere una prova d'urto dove il materiale subisce una frantumazione parziale).

Ciò al fine di valutare la variazione granulometrica delle particelle prevalentemente grossolane a seguito di un trattamento meccanico, simulante la rullatura, che ne mettesse alla prova la resistenza all'usura.

Si riportano di seguito i grafici relativi alla variazione della granulometria delle tre miscele.

Nei grafici che seguono sono riportate per ognuno di essi:

- i fusi granulometrici di riferimento;
- la curva teorica, che si ottiene come combinazione lineare nelle percentuali indicate ad inizio capitolo delle miscele costitutive;
- la curva reale pre-compattazione, ottenuta miscelando fisicamente i materiali in laboratorio che differisce da quella teorica a causa della disomogeneità del materiale;
- la curva post compattazione ottenuta da analisi granulometrica del campione sottoposto a compattazione Proctor derivante dal material miscelato in laboratorio.

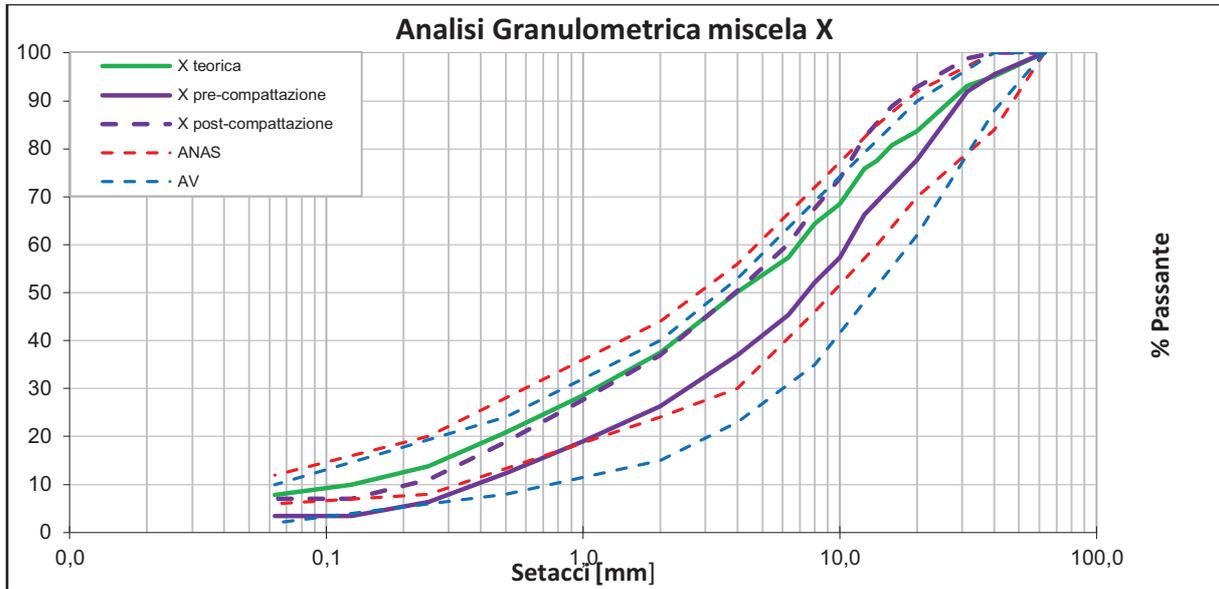


Figura 5. 14: Curve granulometriche pre e post compattazione miscela X.

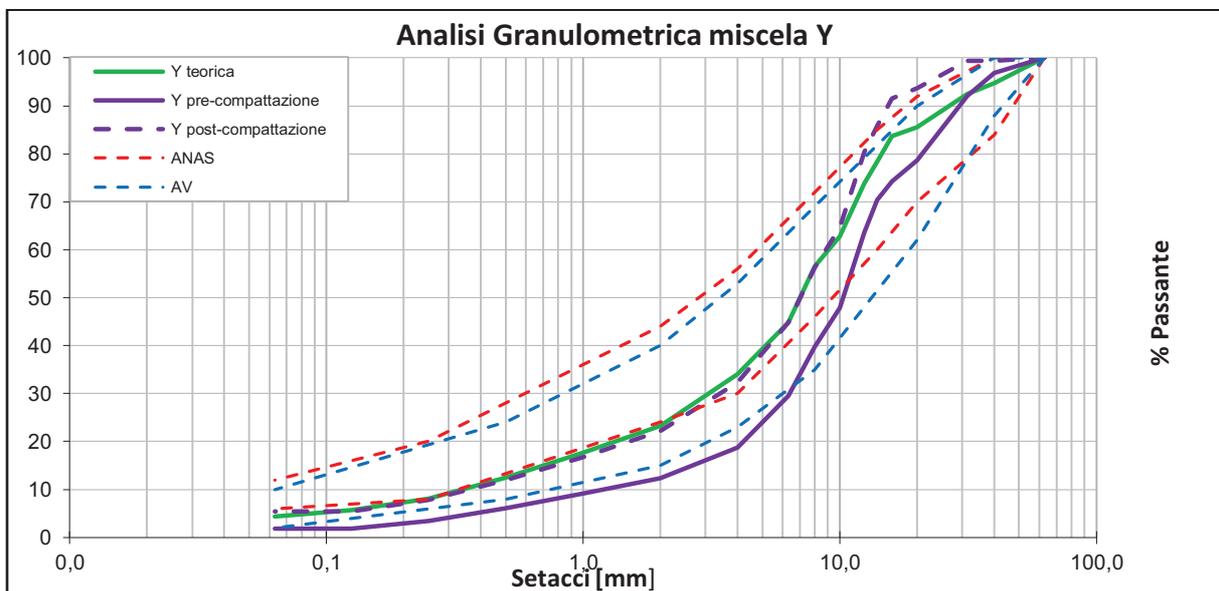


Figura 5. 15: Curve granulometriche pre e post compattazione miscela Y.

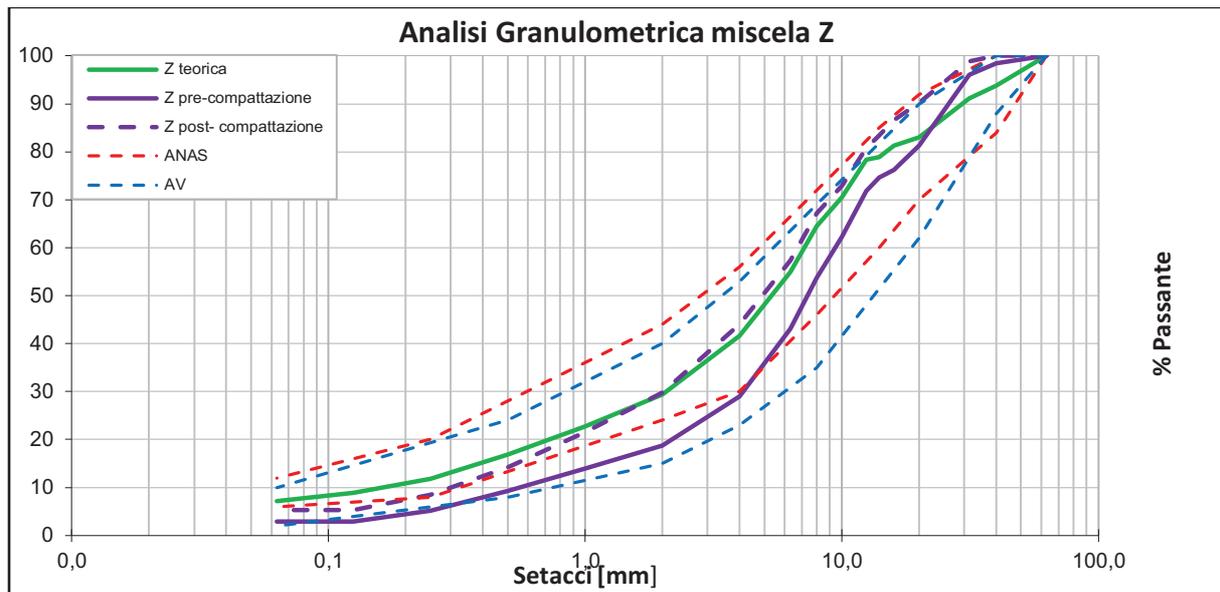


Figura 5. 16: Curve granulometriche pre e post compattazione miscela Z.

Discussione dei risultati ottenuti:

Dai grafici di Figura 5.16 emerge che le granulometrie delle tre miscele rimangono nei fusi di riferimento, ma si ha uno scostamento tra curva reale e teorica dovuto sia alla dimensione dei grani in relazione alla dimensione del campione, sia alla disomogeneità del campione B.

A titolo di studio si è poi verificata la variazione di granulometria degli inerti sottoposti a compattazione Proctor al fine di ipotizzare la reale variazione dovuta alla compattazione in sito.

Analizzando i tre casi, dai quali emerge fin da subito un comportamento similare, si nota uno scostamento della curva granulometrica post compattazione verso la parte alta dei fusi entro cui giace, il che sta ad indicare l'aumento della percentuale di frazione di fine passante ad un dato setaccio.

## 5.5 PROVA CBR PRE SATURAZIONE

Come già menzionato ad inizio capitolo, i campioni di materiale sono stati sottoposti alla valutazione dell'indice di portanza, una volta stabilita la loro umidità ottimale, quale parametro di riferimento per valutare la "genuinità" di un inerte nonché la sua adeguatezza ad assolvere ad impieghi in ambito stradale.

### Elaborazione dei risultati:

Per ottenere risultati attendibili si è proceduto all'esecuzione della prova su tre provini per ogni miscela e si è adottato come valore CBR il valore medio ottenuto dai tre.

I risultati della prova di penetrazione sono stati riportati in un diagramma avente in ascissa la penetrazione del pistone espressa in millimetri ed in ordinata i carichi espressi in chilogrammi, così da ottenere dei diagrammi *tensione-deformazione* che permettessero di individuare il carico corrispondente ad una penetrazione di 2,5 e 5 mm.

Per la maggioranza dei campioni sottoposti alla prova, il diagramma si è presentato con andamento lineare sin dalla partenza, per quei provini che invece hanno presentato, nelle vicinanze dell'origine, una concavità rivolta verso l'alto si è proceduto alla correzione del diagramma consistente nel prolungamento della tangente al tratto più ripido della curva fino ad intersecare l'asse delle ascisse, computando poi le penetrazioni rispettivamente a 2,5 e 5 mm di penetrazione partendo da quel punto in poi.

La procedura di correzione dei diagrammi sopra esposta è resa necessaria allorché il precarico fornito ad inizio prova non sia sufficiente a portare lo stantuffo della pressa a pieno contatto con la superficie del provino; ciò provoca la concavità sopraccitata.

Nella Tabella 5.5 sono riportati i risultati ottenuti già mediati, mentre nel grafico di Figura 5.17, gli stessi, sono stati rappresentati in forma di istogramma per una più rapida valutazione.

<b>CBR PRE-SATURAZIONE (7 GG DI MATURAZIONE IN ARIA)</b>					
<b>Miscela X</b>		<b>Miscela Y</b>		<b>Miscela Z</b>	
<i>w</i> [%]	10,9	<i>w</i> [%]	9,4	<i>w</i> [%]	10,4
<i>CBR pre-sat</i> [%]	252	<i>CBR pre-sat</i> [%]	189	<i>CBR pre-sat</i> [%]	186

Tabella 5. 6: Risultati finali della prova CBR su campioni ad umidità ottimale.

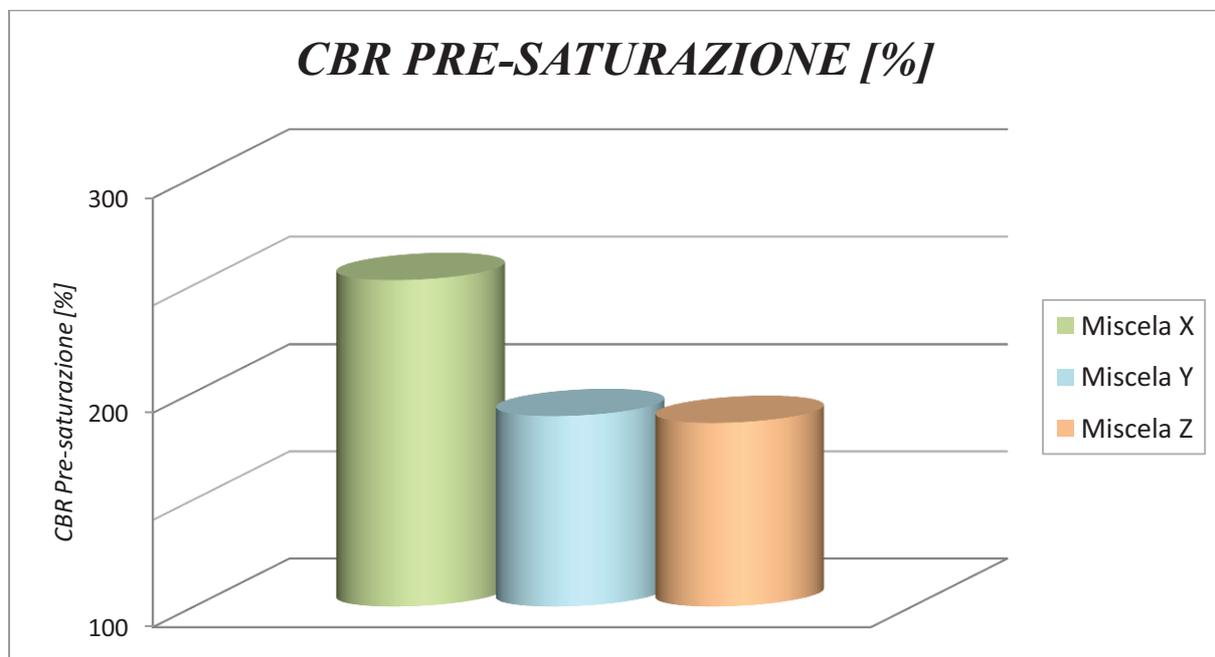


Figura 5. 17: Risultati finali della prova CBR su campioni ad umidità ottimale.

## 5.6 PROVA CBR POST SATURAZIONE

La fase conclusiva delle valutazioni effettuate sulle miscele non legate consiste nella determinazione dell'indice di portanza mediante prova CBR sui campioni di materiale preventivamente sottoposti a saturazione per un periodo di 4 giorni.

La prova effettuata in questa variante ha l'ulteriore scopo di valutare il rigonfiamento del materiale in tali condizioni di umidità.

Come per la prova precedente, per ottenere valori attendibili si sono eseguiti tre tentativi su altrettanti campioni e come valore rappresentativo si è adottato il valore medio.

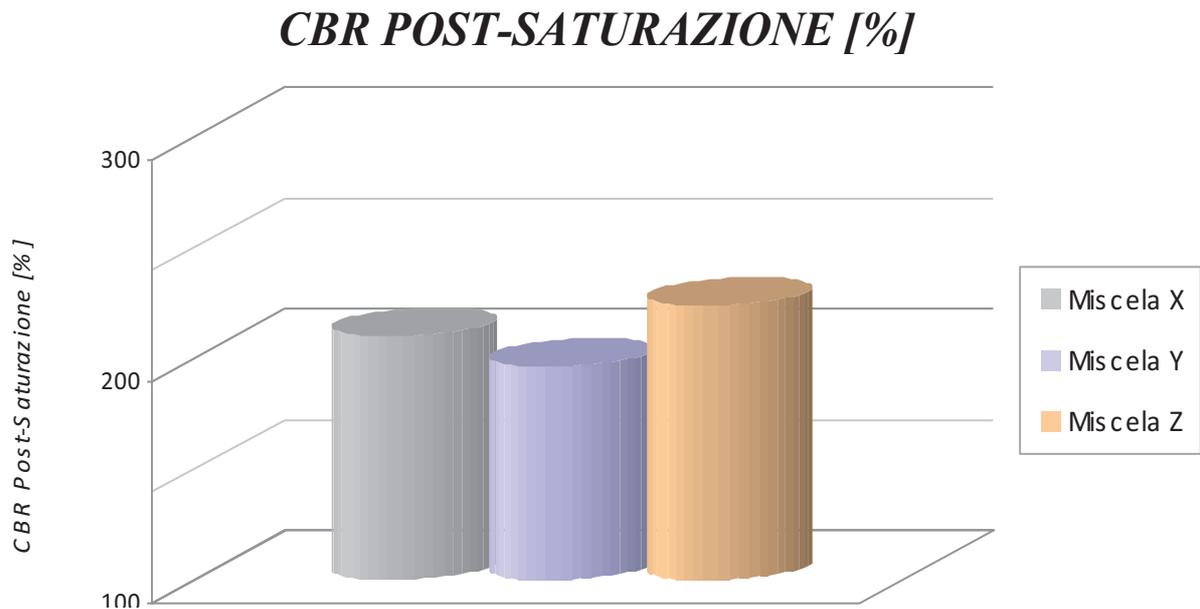
La metodologia di esecuzione è la medesima illustrata nel paragrafo precedente, per cui ci si limiterà ad elencare e discutere i risultati ottenuti.

Nella Tabella 5.6 sono riportati gli esiti della prova eseguita sui tre campioni con il rispettivo valore di rigonfiamento degli stessi.

<b>CBR POST-SATURAZIONE</b>					
<b>Miscela X</b>		<b>Miscela Y</b>		<b>Miscela Z</b>	
<i>w</i> [%]	10,9	<i>w</i> [%]	9,4	<i>w</i> [%]	10,4
<i>CBR post-sat</i> [%]	210	<i>CBR post-sat</i> [%]	197	<i>CBR post-sat</i> [%]	224
<i>Rigonfiamento</i> [%]	0,003	<i>Rigonfiamento</i> [%]	0,009	<i>Rigonfiamento</i> [%]	0,003

Tabella 5. 7: Risultati finali della prova CBR su campioni saturi.

Vengono di seguito proposti due grafici ad istogramma rappresentativi sia dei valori ricavati, sia del comportamento del materiale a seguito della saturazione.



**Figura 5. 18:** Risultati finali della prova CBR su campioni saturi.

*Discussione dei risultati ottenuti:*

Valutando i risultati ottenuti dalle due prove e confrontandoli tra di loro si possono trarre le seguenti conclusioni:

La miscela X ha ottenuto il valore di indice di portanza ad umidità ottimale maggiore rispetto alle altre. Ciò nonostante anche le miscele Y e Z si sono attestate su ottimi livelli. La variazione di umidità a cui si è svolta la prova post saturazione ha influito in generale sulla portanza di tutte le miscele, diminuendo i valori di circa il 16% per la miscela X, il 12% per la miscela Y e solo del 4% per la miscela Z che si è dimostrata la meno sensibile in tali circostanze.

Questo indica che tutte le miscele trattate risultano moderatamente sensibili a variazioni del tenore di umidità, come era lecito attendersi, senza tuttavia avere un decadimento delle proprietà meccaniche tale da comprometterne l'affidabilità.

## ***RIGONFIAMENTO [%]***

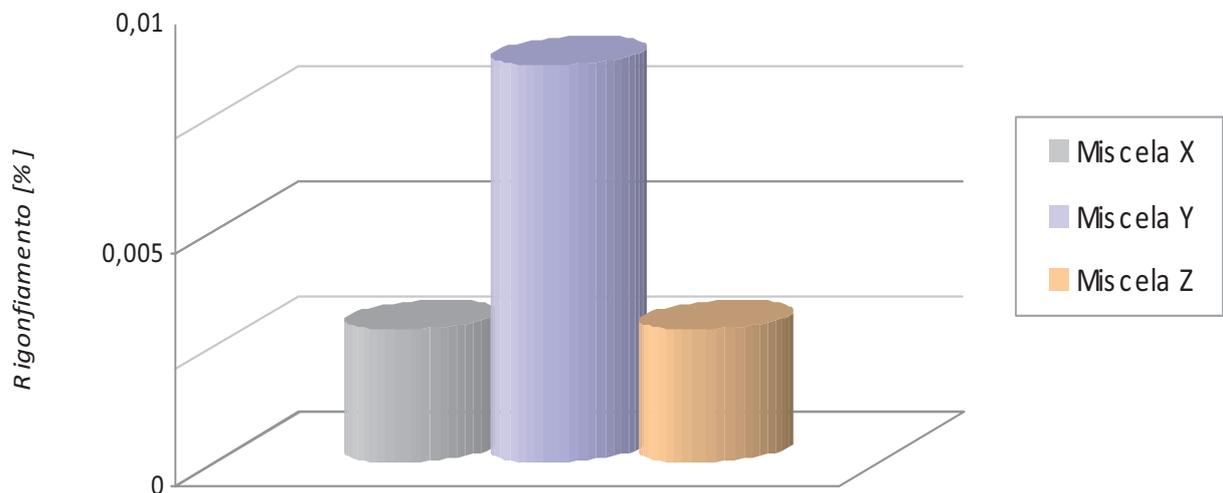


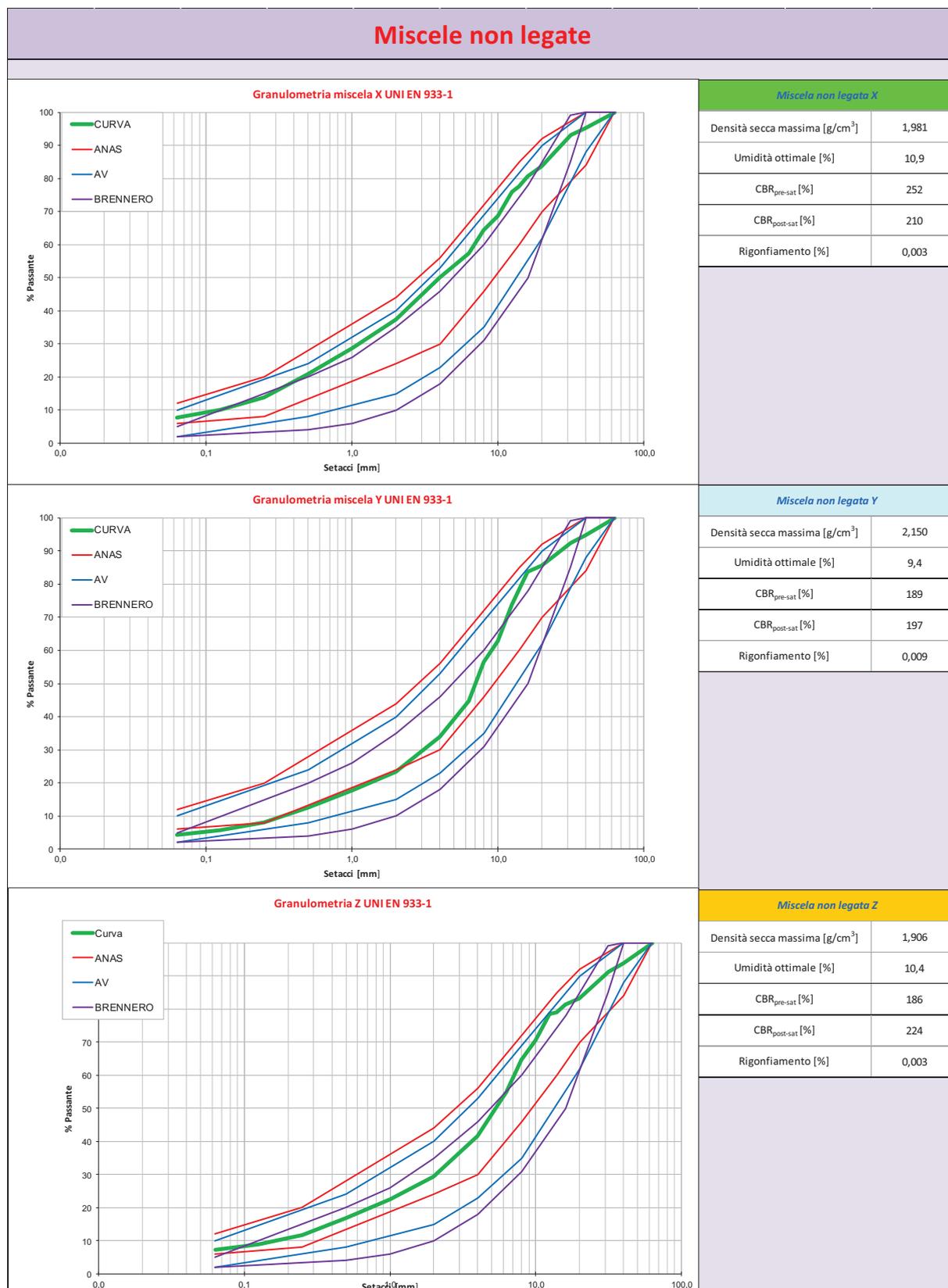
Figura 5. 19: Rigonfiamenti dei tre campioni saturi.

Per concludere, si valutano i rigonfiamenti.

Le miscele X e Z data la natura del materiale di cui sono composte (calcestruzzo, misto riciclato, AG matrix), pur evidenziando comportamenti diversi in termini di indice di portanza, legato prevalentemente alla qualità dei materiali componenti, hanno dimostrato un comportamento analogo in termini di rigonfiamento; ossia, indipendentemente dalle percentuali in cui questi componenti sono stati miscelati per ottenere il mix design proposto, le manifestazioni di deformazioni esclusivamente imputabili al diverso tenore d'acqua presente sono di valore più che accettabile.

La miscela Y (composta da misto riciclato e loppe d'altoforno) mantenendosi costante nei valori di portanza al variare del tenore di umidità, si è invece dimostrata sensibile in termini di variazioni di volume, manifestando incrementi dello stesso tutt'altro che trascurabili.

## 5.7 SPECCHIETTO RIASSUNTIVO MISCELE NON LEGATE



## CAPITOLO 6

### MISCELE LEGATE E PROVE DI LABORATORIO

#### 6.1 INTRODUZIONE

In questo capitolo verranno prese in esame due miscele legate: J,K ottenute dalle non legate X,Z con aggiunta di cemento e ceneri volanti in ugual proporzione.

Su tali miscele sono poi state effettuate prove di laboratorio per ottenere una qualifica meccanica di tali materiali al variare della percentuale di miscelazione con le ceneri volanti.

Per far ciò si è valutata da prima la conformità della curva granulometrica ai fusi di riferimento per miscele legate di Autostrade per il Brennero, Concessioni Autostradali Venete, A.n.a.s, provincia autonoma di Trento e regione Toscana.

Si è poi ipotizzata un'umidità ottimale uguale a quella delle rispettive miscele non legate con l'aggiunta di un punto percentuale d'acqua per l'idratazione del legante.

Lo studio in laboratorio di tali composti è terminato in fine con le seguenti prove:

- prova di portanza (CBR) per determinare l'indice di portanza delle stesse effettuato esclusivamente a 7 giorni in aria
- compressione a espansione laterale libera (CELL)
- trazione indiretta (TI)

Tutti i vari indici sono stati determinati su campioni non saturi lasciati a maturare all'aria per sette giorni, sia con percentuale di legante tagliato al 50% da ceneri volanti sia con percentuale di legante formato da 100% cemento.

<i>MISCELA J</i>	<i>MISCELA K</i>
50% A; 50%B 1,25% cemento 325 1,25% ceneri volanti	70% B, 30% E 1,25% cemento 325 1,25% ceneri volanti

**Tabella 6. 1:** Composizione delle miscele legate.

Per ciò che riguarda la prova CBR si rimanda al capitolo 5.1.2 in quanto a parte il confezionamento dei provini le metodologie e le normative per l'esecuzione della prova sono le stesse utilizzate per miscele non legate (Proctor modificato) con la differenza che per i misti cementati cambia il numero di colpi; non si hanno in effetti più 56 colpi per strato bensì 85.

Passiamo invece a chiarire lo svolgimento delle restanti prove.

### **6.1.1 Prova di Compressione a espansione laterale libera CELL**

La prova di resistenza a compressione in condizioni di espansione laterale libera viene descritta nella normativa UNI – EN 13286-41 del 2003 e consiste nel sottoporre un provino ad una forza di compressione fino a rottura; il carico massimo sostenuto dal provino viene registrato e da esso si calcola il valore di resistenza a compressione.

Per le modalità di esecuzione di tale prova si può far riferimento anche alla norma CNR B.U. 29/72 “Norme sui misti cementati”. La differenza principale tra la norma UNI – EN e la CNR consiste nelle unità di misura utilizzate, nella prima infatti le forze vengono espresse in Newon, mentre nella seconda in chilogrammi.

L'apparato di prova utilizzato per la determinazione della resistenza a compressione deve essere dotato di due piastre di carico in acciaio; esse devono essere caratterizzate da una durezza Rockwell di almeno 55 HRC per una profondità di 5 mm.



**Figura 6. 1:** Pressa in conformazione per prova CELL

Il diametro delle piastre di carico deve essere maggiore, o al limite uguale, a quello del provino da testare.

La piastra superiore deve essere collegata al macchinario di prova mediante una sede sferica, di diametro non superiore a 150 mm, l'accoppiamento piastra – sede sferica è progettato in modo da facilitare l'allineamento tra piastra e provino, e da bloccarsi non appena il carico esercitato comincia ad aumentare.

Prima di eseguire la prova è necessario accertarsi che tutte le superfici del macchinario siano asciutte e pulite e che le facce del provino risultino prive di irregolarità o eccessi di umidità. Il provino deve essere posizionato al centro della piastra inferiore, con una precisione pari all'1% del diametro di progetto del provino.

La prova di resistenza a compressione è una prova in controllo di carico; il gradiente di velocità di carico deve essere tale da provocare la rottura del provino in un intervallo di tempo che va da 30 a 60 secondi dall'inizio della prova



Figura 6. 2: Provino sottoposto a prova CELL portato a rottura

Si definisce resistenza a compressione ( $R_C$ ) il rapporto tra il carico necessario per rompere un provino e l'area di base corrispondente, da cui la formula:

$$R_C = \frac{P_F}{A_b}$$

dove:

$R_C$  = resistenza a compressione ( $N/mm^2$ )

$P_F$  = carico massimo sostenuto dal provino (N)

$A_b$  = area di base del provino testato ( $mm^2$ ).

Se le dimensioni reali del provino differiscono da quelle di progetto di una quantità che varia tra -0,5% e 0,5%, per il calcolo della resistenza a compressione si utilizza l'area di base di progetto. Se invece le dimensioni reali non rientrano all'interno di questo intervallo di tolleranza il calcolo viene effettuato considerando l'area reale del provino.

La normativa distingue tra tipologie di rottura soddisfacenti e insoddisfacenti. Per provini cilindrici la rottura è da ritenersi soddisfacente se avviene secondo uno dei modi in figura

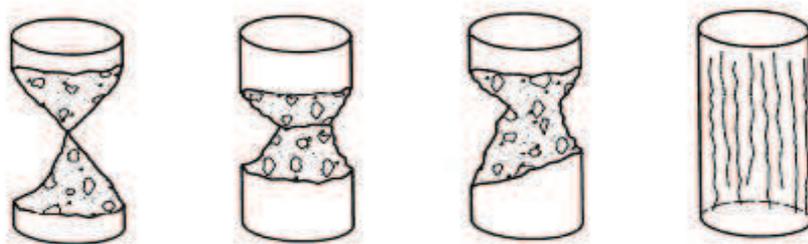


Figura 6. 3: Tipologie di rotture soddisfacenti

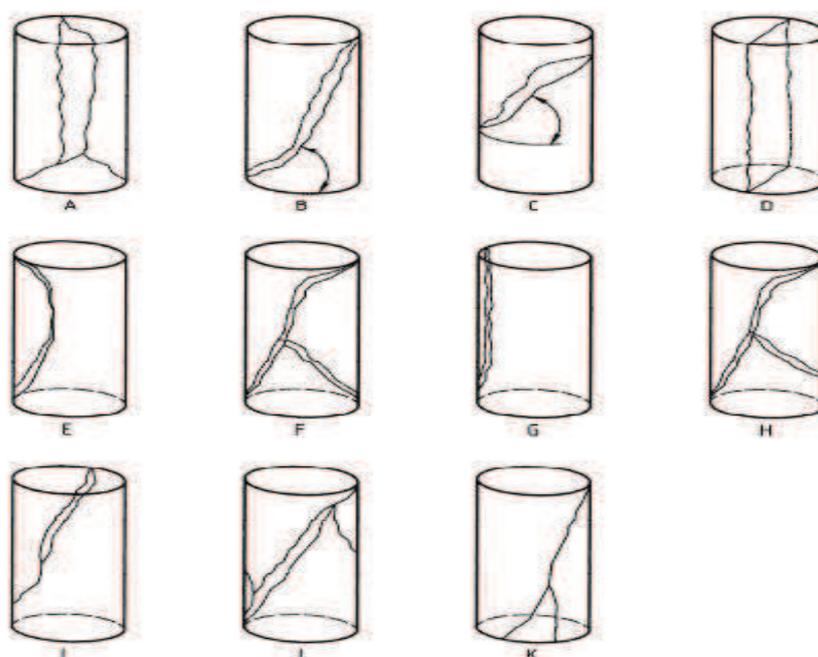


Figura 6. 4: Tipologie di rotture non soddisfacenti.

### 6.1.2 Prova di trazione indiretta T.I.

Si definisce resistenza a trazione indiretta TI, la massima tensione di trazione (calcolata) applicata a un provino cilindrico caricato diametralmente fino a rottura alla temperatura di prova e alla velocità di avanzamento della macchina.

Tale prova viene effettuata per un duplice obiettivo:

- definire un valore di resistenza di picco che il misto cementato riesce a fornire da poterlo confrontare con le richieste di eventuali capitolati
- valutare se la presa e l'indurimento del cemento, principale responsabile della resistenza a trazione indiretta, siano condizionati dalla presenza di ceneri volanti.

Le modalità di esecuzione della prova, sono quelle riportate nella UNI EN 12390-6 in quanto si è classificato il materiale come calcestruzzo, una trattazione migliore sarebbe stata considerando la norma UNI EN 13286-40 in quanto è più specifica per tali materiali.

Tale prova prevede che un provino cilindrico di materiale, di dimensioni normate, venga rotto, a velocità costante, applicando una compressione lungo la superficie laterale del campione, ciò comporta una deformazione dello stesso e una conseguente rottura a trazione.

Il provino dovrà essere confezionato con le stesse procedure del provino CELL, fatto maturare lo stesso numero di giorni dopo i quali si potrà effettuare la prova vera e propria.

La collocazione del provino sulla pressa è stata eseguita in modo che l'asse dei provini risultasse orizzontale, l'asse del coltello di carico superiore fosse perfettamente parallelo a quello del coltello inferiore, ed entrambe fossero contenute nel piano verticale passante per l'asse del provino.

Per agevolare la procedura di posizionamento, le bande di carico sono realizzate con una superficie concava di raggio di curvatura corrispondente al raggio nominale del provino.

Ad inizio prova la barra superiore della pressa viene portata a contatto con la superficie laterale del cilindro e viene applicato un precarico di 10 N.

Applicato il precarico si fa iniziare la prova e il coltello superiore comincia a comprimere il provino abbassandosi velocità costante, nel contempo viene registrata la forza necessaria a far avanzare il pistone.

La resistenza massima alla deformazione del cilindro registrata rappresenta il valore della resistenza a trazione



**Figura 6. 5:** Provino di misto cementato caricato su attrezzatura per effettuare la prova di trazione indiretta



Figura 6. 6: Provino di misto cementato portato a rottura a trazione indiretta

## 6.2 VALUTAZIONE DEI FUSI GRANULOMETRICI DELLE MISCELE LEGATE

Spiegate tutte le prove effettuate si passa ora all'analisi dei risultati di laboratorio su miscele legate.

Cominciamo quindi con l'analisi granulometrica e la corrispondenza delle miscele con le richieste di capitolato.

Come si può notare dalla Tabella 6.2, i diametri dei setacci utilizzati sono analoghi, per quanto riguarda i diametri minimi e massimi, mentre cambia da ente ad ente la precisione con cui viene definita la curva.

Indipendentemente da ciò è evidente che tutti gli enti necessitano di materiale passante al setaccio da 63 mm per la sua totalità e consentono la presenza di fine (passante al setaccio da 0,063 mm) in piccole percentuali (da un minimo del 2% ad un massimo del 12%).

FUSI GRANULOMETRICI MISCELE LEGATE														
Fuso provincia di Trento			Fuso regione Toscana			Fuso ANAS 2008			Fuso autostrade per il Brennero			Fuso autovie venete		
Diametro (mm)	LIMITI (passante%)		Diametro (mm)	LIMITI (passante%)		Diametro (mm)	LIMITI (passante%)		Diametro (mm)	LIMITI (passante%)		Diametro (mm)	LIMITI (passante%)	
	min	max		min	max		min	max		min	max			
40	100	100	-	-	-	40	100	100	40	100	100	-	-	-
31,5	85	100	31,5	100	100	31,5	90	100	31,5	85	100	-	-	-
25	75	100	20	70	100	20	70	90	25	75	100	25	100	100
20	65	94	14	55	78	14	58	78	20	65	94	20	80	100
10	44	78	10	45	65	8	43	61	10	44	78	16	66	87
4	26	61	4	28	42	4	28	44	4	26	61	8	41	61
2	18	50	2	18	30	2	18	32	2	18	50	4	24	39
0,5	8	30	0,5	8	18	0,5	9	20	0,5	8	30	2	18	30
0,25	6	22	0,125	5	13	0,125	6	13	0,25	6	22	1	9	19
0,063	3	11	0,063	2	10	0,063	5	10	0,063	3	11	0	5	10

Tabella 6. 2: Fusi granulometrici per miscele legate ammessi dagli enti esaminati.

Nelle figure 6.7 e 6.8 è stata messa in risalto l'osservanza delle granulometrie di progetto delle due miscele con i diversi fusi imposti dai vari capitolati (definiti da una curva massima e una minima) con colori diversi e la posizione della curva rappresentativa della miscela trattata, nei loro confronti (tracciata in verde).

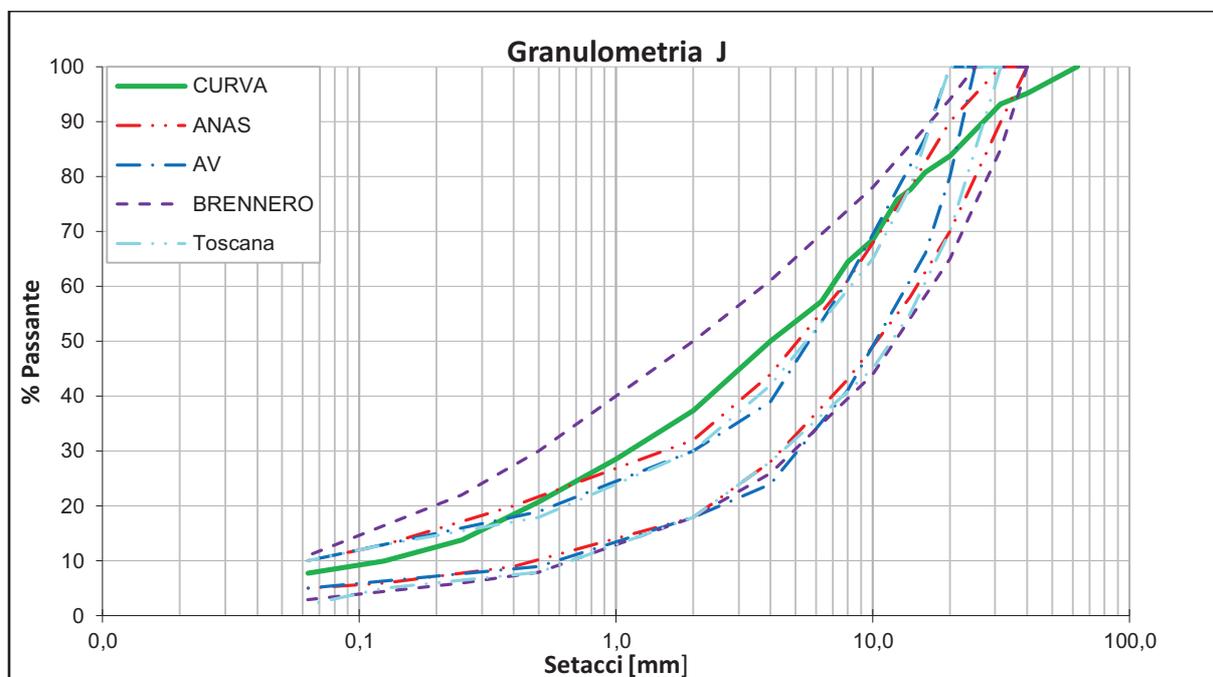


Figura 6. 7: Curva granulometrica della miscela J.

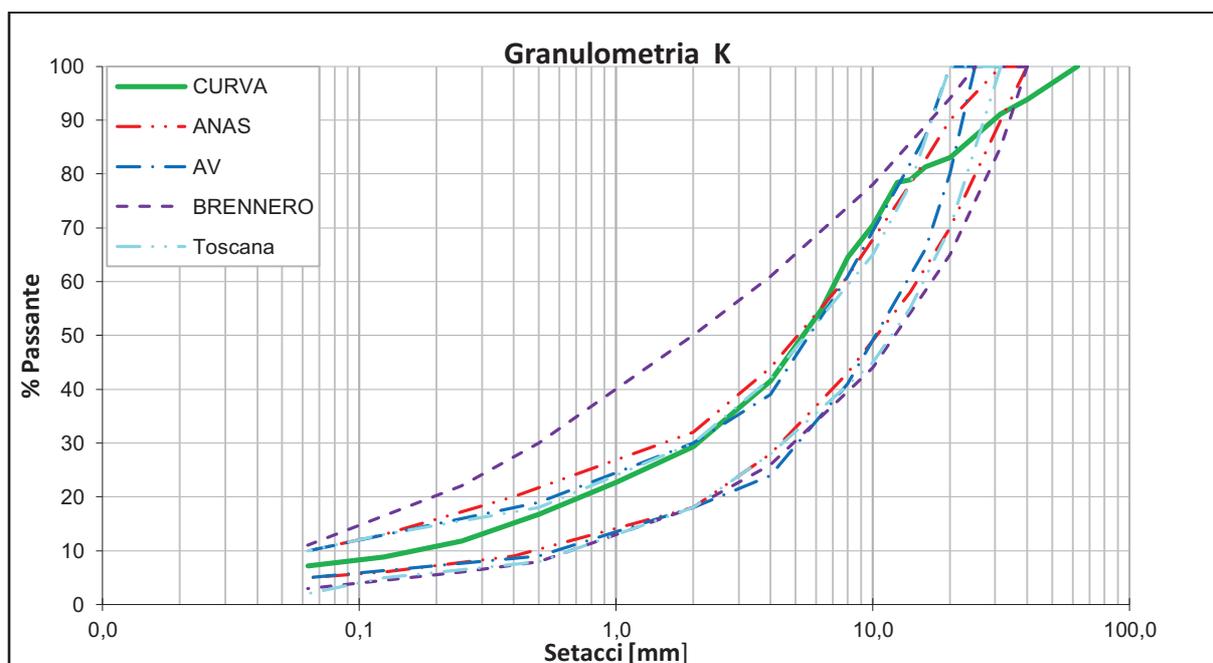


Figura 6. 8: Curva granulometrica della miscela J.

È stato omesso il fuso granulometrico della provincia di Trento in quanto coincide con quello dell'autostrada del Brennero mentre si può notare un'estrema somiglianza fra quello della regione Toscana e Autovie Venete

Come si può notare, le miscele J e K appaiono ben distribuite.

### 6.3 PROVA CBR

Le modalità di esecuzione della prova sono le stesse delle miscele non legate con la differenza che perde di importanza l'indice di portanza post saturazione in quanto l'aggiunta di leganti diminuisce drasticamente la già scarsa sensibilità all'acqua; ha invece importanza rilevante effettuare un controllo su decadimento prestazionale dovuto all'utilizzo al 50% di ceneri volanti al posto del 100% cemento.

#### Elaborazione dei risultati:

Come per le miscele non legate, per essere più sicuri dell'attendibilità dei risultati, si è proceduto all'esecuzione della prova su tre provini per ogni miscela e si è adottato come valore CBR il valore medio ottenuto dai tre.

I risultati della prova di penetrazione sono stati riportati in figura 6.9 e 6.10 aventi in ascissa la penetrazione del pistone espressa in millimetri ed in ordinata i carichi espressi in chilogrammi, così da ottenere dei diagrammi *tensione-deformazione* che permettessero di individuare il carico corrispondente ad una penetrazione di 2,5 e 5 mm.

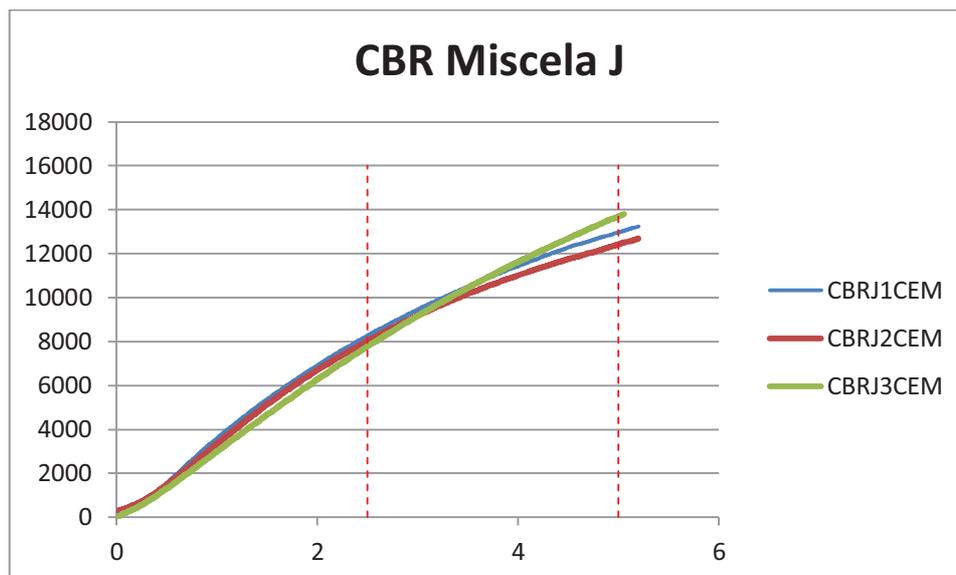


Figura 6. 9: Diagramma di carico miscela J 100% cemento con prova CBR

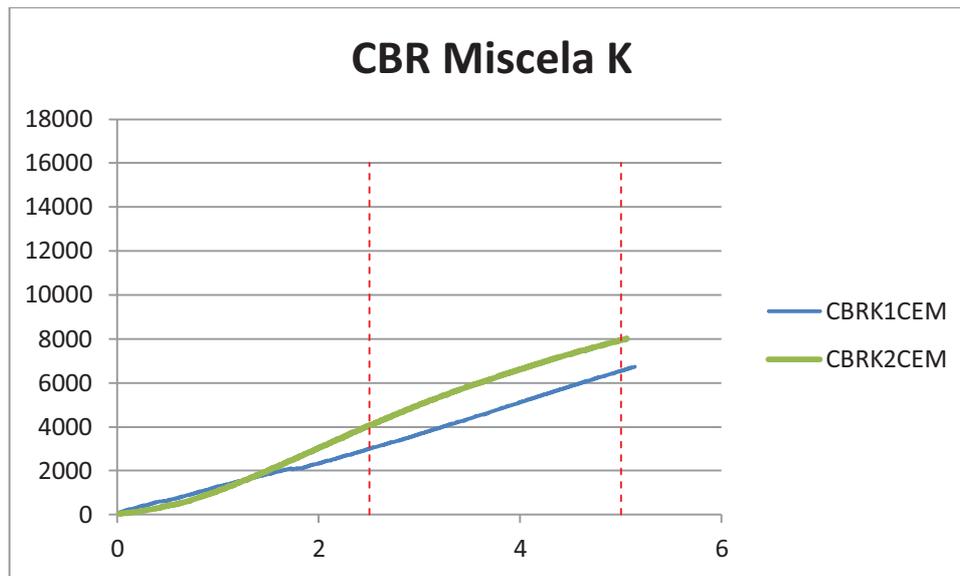


Figura 6. 10: Diagramma di carico miscela K 100% cemento con prova CBR

Per la maggioranza dei campioni sottoposti alla prova, il diagramma si è presentato con andamento lineare sin dalla partenza, per quei provini che invece hanno presentato, nelle vicinanze dell'origine, una concavità rivolta verso l'alto si è proceduto alla correzione del diagramma consistente nel prolungamento della tangente al tratto più ripido della curva fino ad intersecare l'asse delle ascisse, computando poi le penetrazioni rispettivamente a 2,5 e 5 mm di penetrazione partendo da quel punto in poi.

<b>CBR PRE-SATURAZIONE (7 GG DI MATURAZIONE IN ARIA)</b>			
<i>Miscela J</i>		<i>Miscela K</i>	
w [%]	11,9	w [%]	11,4
CBR <sub>pre-sat</sub> [%]	480	CBR <sub>pre-sat</sub> [%]	332
<b>CBR PRE-SATURAZIONE (7 GG DI MATURAZIONE IN ARIA)</b>			
<i>Miscela J 100% cem</i>		<i>Miscela K 100% cem</i>	
w [%]	11,9	w [%]	11,4
CBR <sub>pre-sat</sub> [%]	621	CBR <sub>pre-sat</sub> [%]	355

Tabella 6. 3: Risultati finali della prova CBR su campioni ad umidità ottimale.

La procedura di correzione dei diagrammi sopra esposta è resa necessaria allorché il precarico fornito ad inizio prova non sia sufficiente a portare lo stantuffo della pressa a pieno contatto con la superficie del provino; ciò provoca la concavità sopraccitata.

Nella Tabella 6.3 sono riportati in estrema sintesi i risultati ottenuti già mediati, mentre nel grafico di Figura 6.11 e 6.12, gli stessi, sono stati rappresentati in forma di istogramma per una più rapida valutazione.

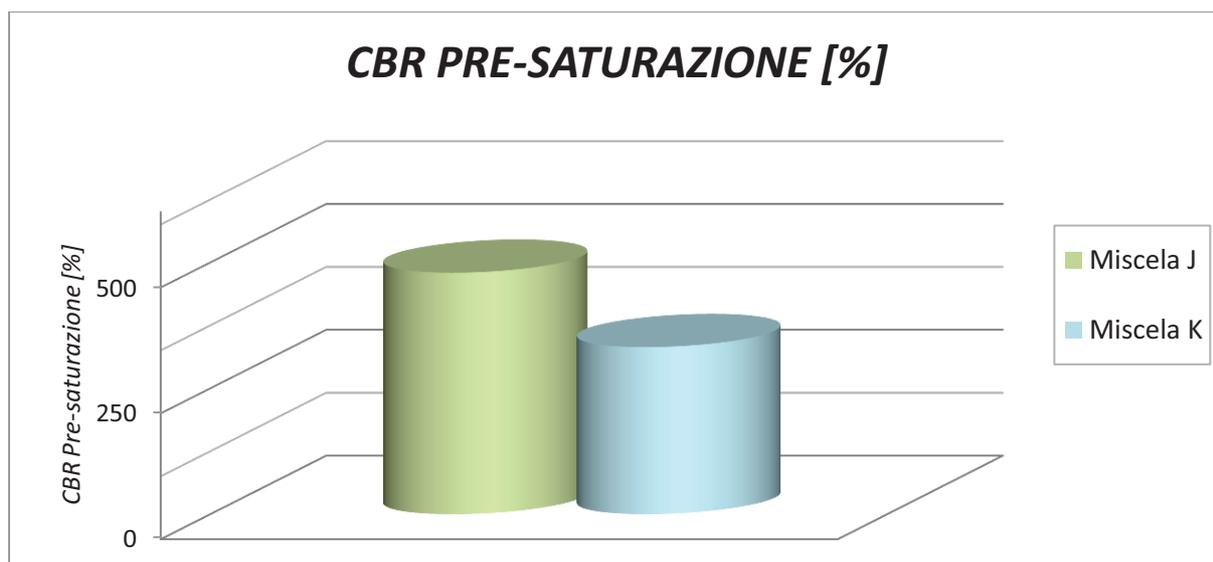


Figura 6. 11: Risultati finali della prova CBR su campioni ad umidità ottimale legati a 50% cemento 425 e 50% ceneri volanti.

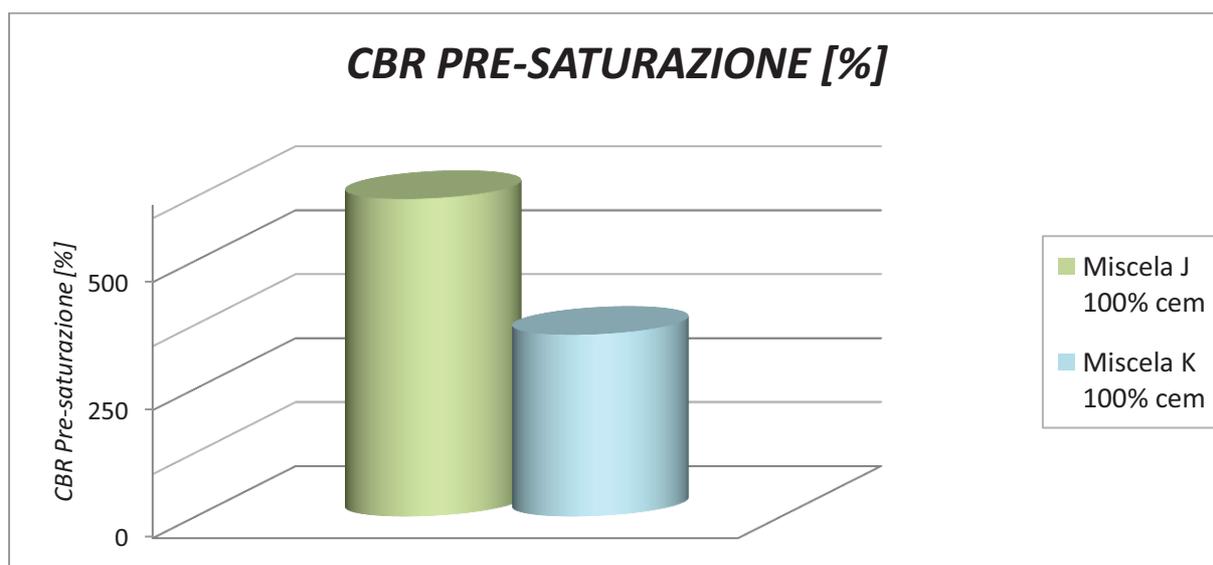


Figura 6. 12: Risultati finali della prova CBR su campioni ad umidità ottimale legati a 100% cemento 425

Discussione dei risultati ottenuti:

Valutando i risultati ottenuti dalle due prove e confrontandoli tra di loro si possono trarre le seguenti conclusioni:

Per entrambe le miscele l'aggiunta di ceneri volanti al posto del 50% del legante porta ad un abbattimento, anche se non drastico, della capacità portante.

La miscela J ha conseguito un abbattimento più sostanzioso delle resistenze, pur mantenendo un indice di portanza maggiore alla K, la quale ha risentito pochissimo del passaggio a 100% cemento.

I capitolati non danno informazioni riguardo a un valore di CBR limite di accettabilità per miscele legate pertanto tale prova ci permette di dare un indice di apprezzabilità solo tramite un giudizio di esperti: tecnici di laboratorio e progettisti che spesso effettuano questo tipo di prova per avere un riscontro in fase progettuale della bontà di una miscela di questo tipo.

#### **6.4 PROVA DI COMPRESSIONE AD ESPANSIONE LATERALE LIBERA CELL**

Elaborazione dei risultati:

Come per i provini CBR si è preferito, per essere più sicuri sull'attendibilità dei risultati, provvedere all'esecuzione della prova su tre provini per ogni miscela e si è adottato come valore CBR il valore medio ottenuto dai tre.

Ciò non è stato possibile per le miscele legate al 100% cemento a causa della mancanza di materiale ma, essendo tali campioni esclusivamente finalizzati a verificare il decadimento causato dall'aggiunta di ceneri volanti, si ritiene che il dato formato da due sole campionature sia sufficiente.

I risultati della prova di compressione ad espansione laterale libera sono stati riportati in figura 6.13 e 6.14

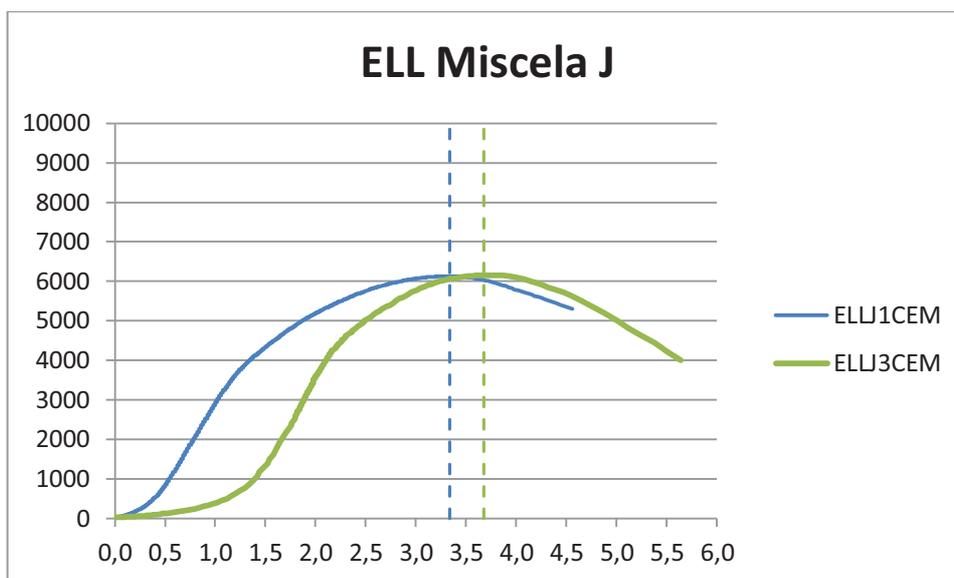


Figura 6. 13: Risultati prova CELL su campione J a 100% cemento 425

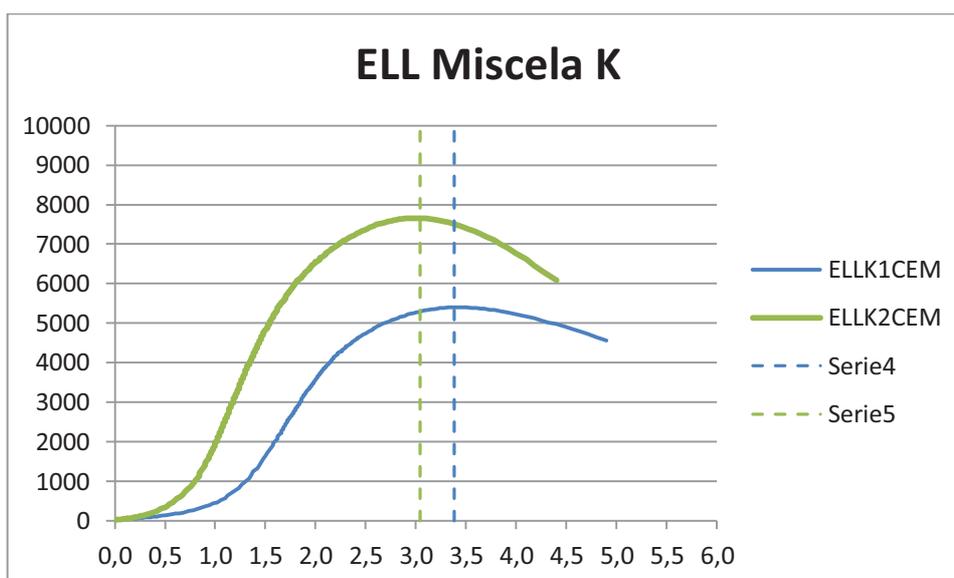


Figura 6. 14: Risultati prova CELL su campione K a 100% cemento 425

Risulta evidente il contrasto fra il valore massimo delle due campane della miscela K, ciò è ritenuto sia imputabile alla disomogeneità dei campioni di origine in quanto questo scostamento si ripete anche nella prova a trazione indiretta effettuata su altri due campioni dello stesso materiale

In tabella 6.4 sono riportati i risultati della prova CELL sia per miscela di progetto che per miscela composta al 100% da cemento.

<b>COMPRESSIONE AD ESPANSIONE LATERALE LIBERA</b>			
<b>Miscela J</b>		<b>Miscela K</b>	
w [%]	11,9	w [%]	11,4
Carico unitario di rottura [MPa]	2,84	Carico unitario di rottura [MPa]	1,91
Deformazione [mm]	3,50	Deformazione [mm]	3,06
<b>Miscela J 100% cem</b>		<b>Miscela K 100% cem</b>	
w [%]	11,9	w [%]	11,4
Carico unitario di rottura [MPa]	3,46	Carico unitario di rottura [MPa]	3,65
Deformazione [mm]	3,75	Deformazione [mm]	3,18

**Tabella 6. 4:** Risultati finali della prova CELL su campioni ad umidità ottimale.

Discussione dei risultati ottenuti:

Al contrario della prova CBR con la prova CELL la differenza fra miscela di progetto e miscela al 100% cemento è significativa e si può in effetti notare un notevole incremento prestazionale.

I capitolati richiedono un modulo di deformazione che vari da 2 a 3,5 pertanto la miscela J risponde già ai requisiti prestazionali mentre per la miscela K formata da inerti più poveri risulta essere necessario un aumento della percentuale di legante per poter rientrare.

## 6.5 PROVA DI TRAZIONE INDIRETTA

Elaborazione dei risultati:

Come per i provini CBR si è preferito, per essere più sicuri sull'attendibilità dei risultati, provvedere all'esecuzione della prova su tre provini per ogni miscela e si è adottato come valore CBR il valore medio ottenuto dai tre.

Ciò non è stato possibile per le miscele legate al 100% cemento a causa della mancanza di materiale ma essendo, tali campioni esclusivamente finalizzati a verificare il decadimento causato dall'aggiunta di ceneri volanti si ritiene che il dato formato da due sole campionature sia sufficiente.

I risultati della prova di compressione ad espansione laterale libera sono stati riportati in figura 6.13 e 6.14

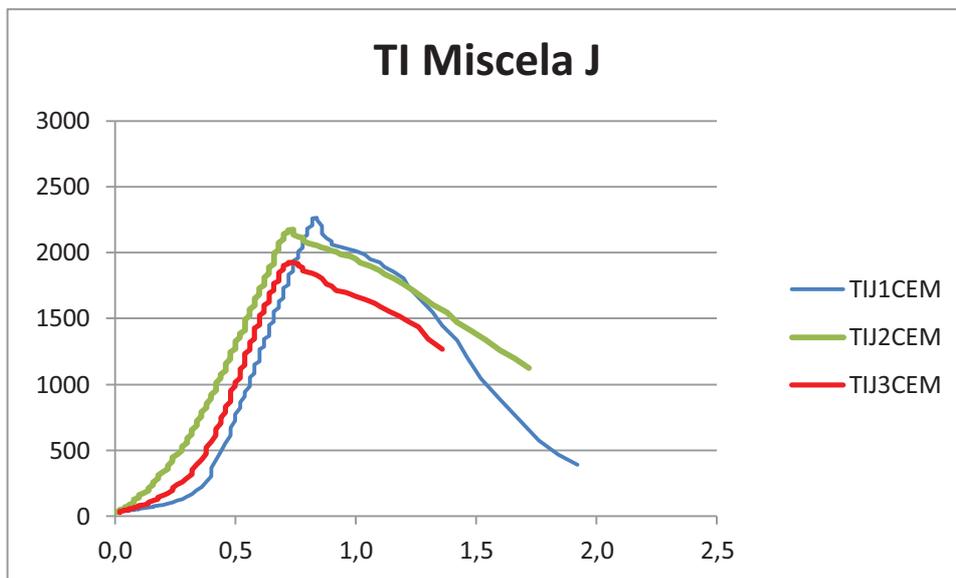


Figura 6. 15: Risultati prova TI su campione J a 100% cemento 425

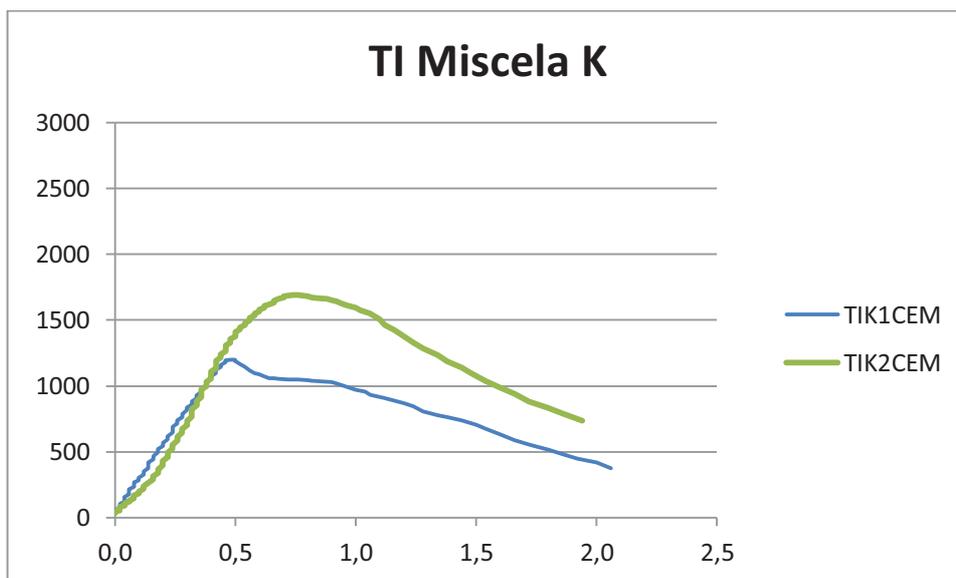


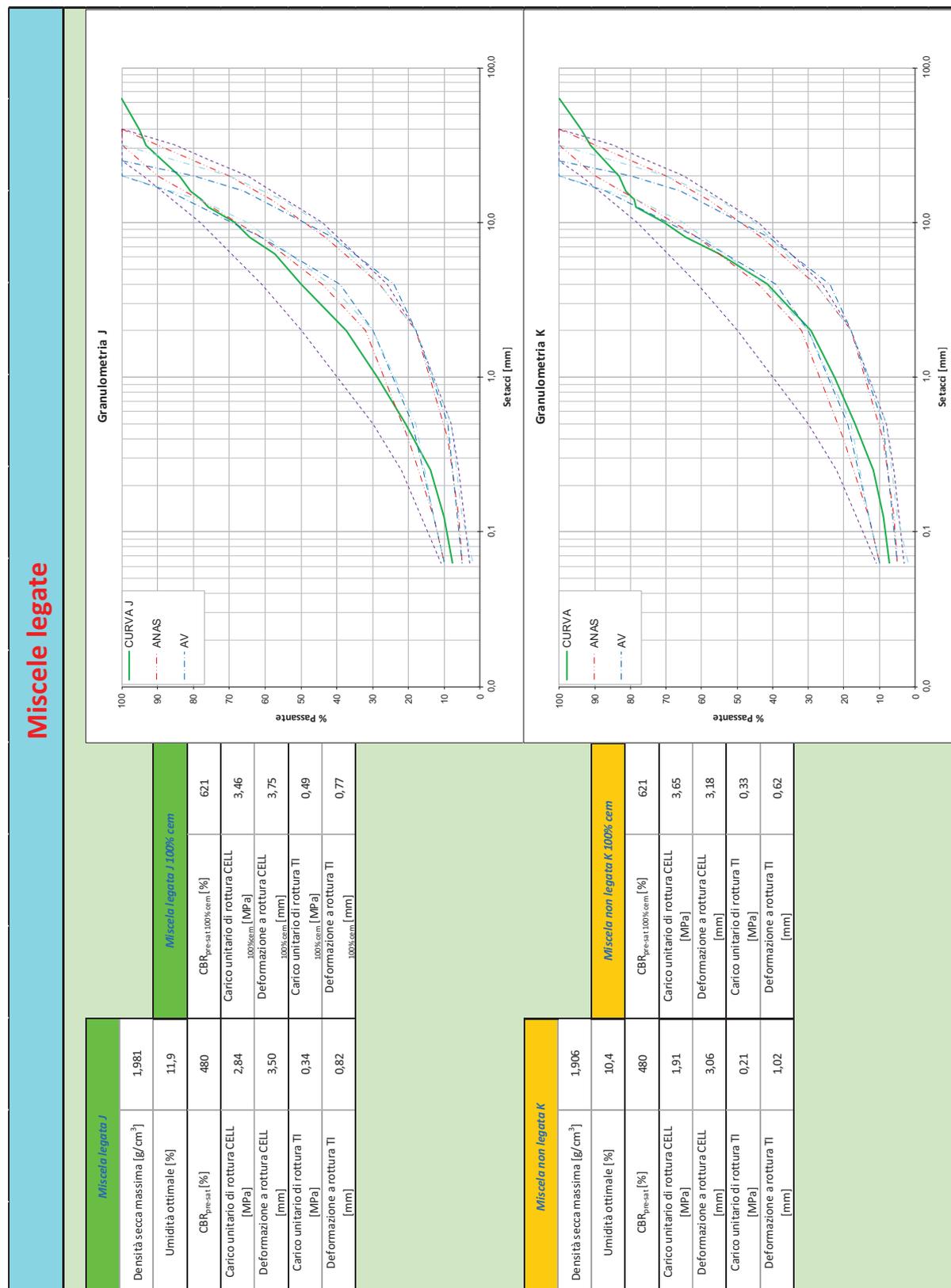
Figura 6. 16: Risultati prova TI su campione K a 100% cemento 425

<b>TRAZIONE INDIRECTA</b>			
<b>Miscela J</b>		<b>Miscela K</b>	
w [%]	11,9	w [%]	11,4
Carico unitario di rottura [MPa]	0,34	Carico unitario di rottura [MPa]	0,21
Deformazione [mm]	0,82	Deformazione [mm]	1,02
<b>Miscela J 100% cem</b>		<b>Miscela K 100% cem</b>	
w [%]	11,9	w [%]	11,4
Carico unitario di rottura [MPa]	0,49	Carico unitario di rottura [MPa]	0,33
Deformazione [mm]	0,77	Deformazione [mm]	0,62

**Tabella 6. 5:** Risultati finali della prova TI su campioni ad umidità ottimale

I capitolati impongono valori di resistenza a trazione indiretta compresi tra 0,25 e 0,35 MPA pertanto si può notare che la miscela J risponde a pieno alle caratteristiche richieste mentre per la miscela K è richiesta una percentuale di legante maggiore.

## 6.6 SPECCHIETTO RIASSUNTIVO MISCELE LEGATE



## **CAPITOLO 7**

# **CAMPO PROVE**

### **7.1 INTRODUZIONE**

In questo capitolo si tratteranno le prove in situ per la validazione della portanza dei materiali in opera. In particolare la tesi ha come oggetto il confronto tra la densità ed umidità in situ e in laboratorio.

In accordo con Concave, che dovrà poi commercializzare tali prodotti, si è valutato quali miscele sarebbe stato meglio verificare in opera.

Potendo testare in campo solo due miscele legate e due non legate si è preferito escludere la miscela Y in quanto formata da scorie d'alto forno. Quest'ultima da un lato è di reperibilità limitata in termini di volumi per poter assicurare la fornitura per opere di una certa importanza che richiedono volumi considerevoli di miscela; dall'altro il non banale fatto che le scorie, se rimangono in ambiente umido a lungo, tendono a cambiare notevolmente il loro volume se non correttamente stabilizzate, ciò potrebbe comportare seri problemi strutturali all'opera.

### **7.2 PREPARAZIONE E CONFORMAZIONE CAMPO PROVE**

Per meglio testare le varie miscele risultanti da mix design effettuato in fase di laboratorio il consorzio Concave di Bologna ha messo a disposizione un'area di 300 m<sup>2</sup> per la messa in opera e il successivo studio in campo di tali miscele. Tale area è situata di fronte alla sede aziendale all'interno di una porzione di cava in cui viene estratta argilla per ceramiche e inerti per opere civili e industriali, in figura 7.1 è specificata l'ubicazione



Figura 7. 1: Collocazione dell'area destinata a campo prove all'interno della cava

In figura 7.2 è riportata la disposizione planimetrica dei vari materiali mentre in figura 7.3 sono schematizzati i 3 piani di indagine del campo prove (sottofondo, strato L1 e strato L2).

Ogni livello è sottoposto a test descritti successivamente. Il piano di posa di ogni livello ha una pendenza trasversale del 2% per permettere lo scolo delle acque.

La quota finale del campo prove è pari alla quota della strada posta accanto a lato del campo prove.

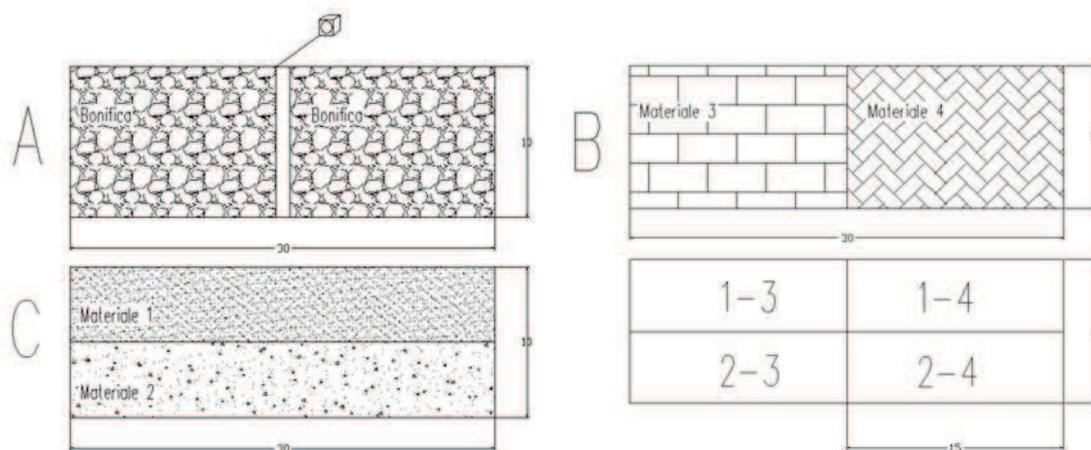


Figura 7. 2: Pianta del campo prove

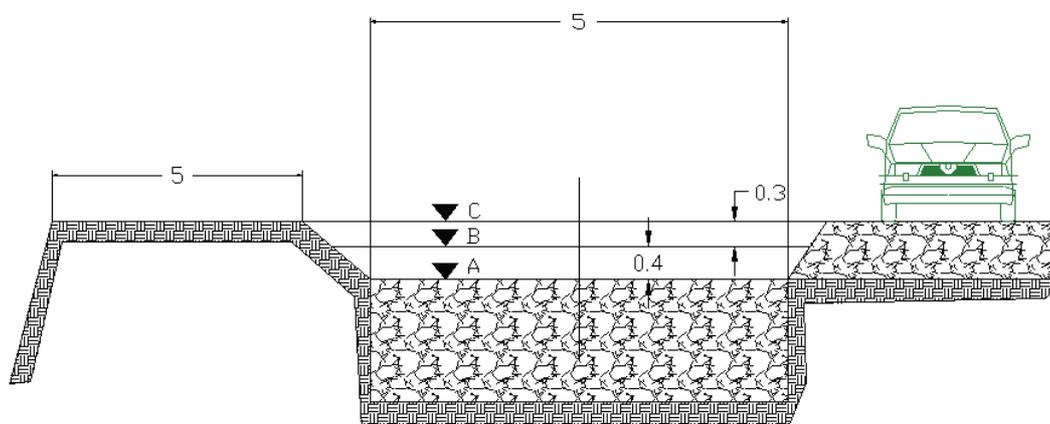


Figura 7. 3: Sezione dei vari strati (controllare spessori- definire compattato spessore non compattato)

- **Sottofondo.**

E' stato eseguito tramite asportazione del terreno in sito e successiva stesa di 70 cm di bonifica di cui in seguito descriveremo le caratteristiche.

Completata la stesa è stata eseguita una gettata di calcestruzzo in direzione perpendicolare allo sviluppo del campo in modo tale da avere un punto più rigido in cui poter settare alcuni parametri registrati dal rullo in fase di compattazione.

Tramite tale discontinuità sarà, in effetti, possibile effettuare una verifica sulla georeferenziazione dei dati.

E' stato utilizzato un rullo della Bomag in grado di fornire un modulo dinamico del terreno, in tal modo è stato possibile effettuare un maggiore controllo sul compattamento e una verifica in continuo della portanza dello strato.



Figura 7. 4: Sottofondo e trave in calcestruzzo eseguita a metà del campo prove per delimitare i vari campi

Si è quindi provveduto alla realizzazione di 4 corsie di rullatura di 2,20 x 30 metri, come in figura 7.4, in cui ogni ciclo di rullatura è formato da un andata con vibrazione accesa e un ritorno statico.

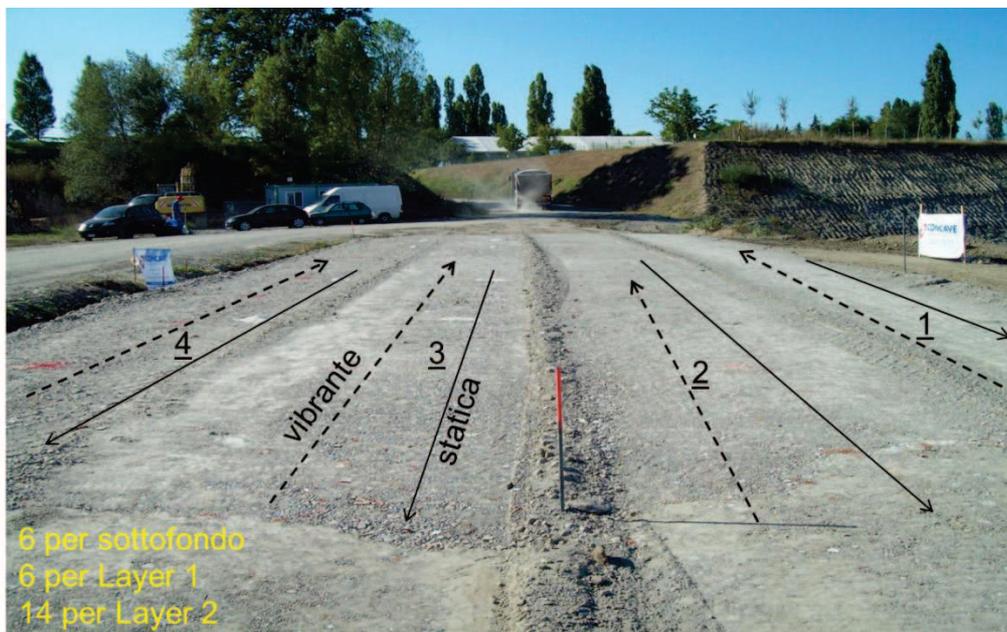


Figura 7.5: Schema di rullatura per ogni ciclo e per ogni layer

Il rullo della Bomag è, in oltre, in grado di modificare la frequenza dell'energia di costipamento e l'angolazione rispetto alla verticale della onda di costipamento sia in modo manuale che automatico in funzione della risposta del terreno ciò permette di compattare in modo migliore e a diverse profondità

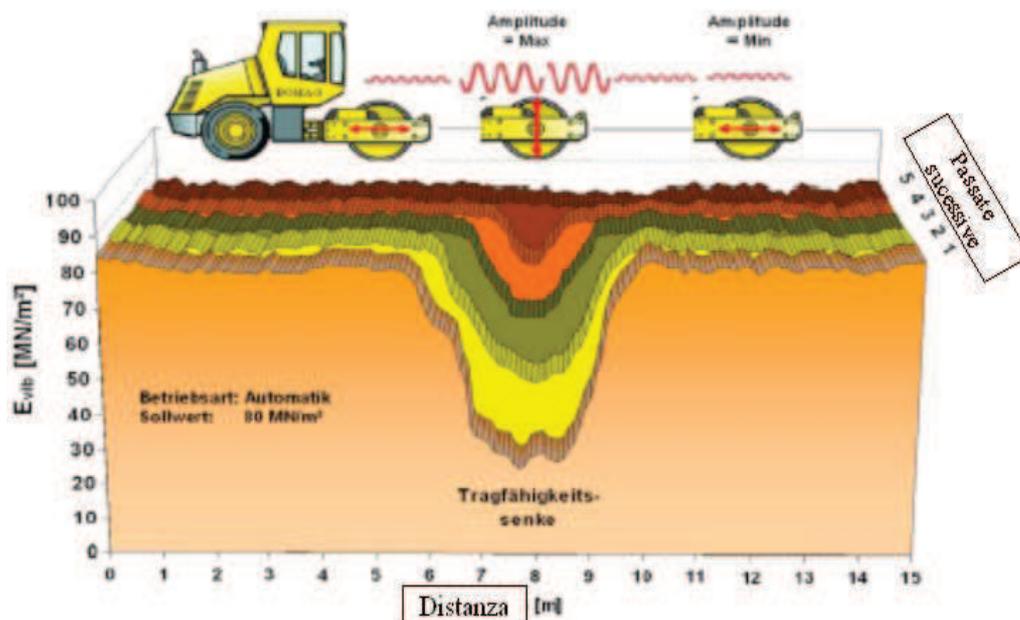


Figura 7. 6: Schema di adattamento amplitudine in modo automatico IC

Il rullo viene quindi utilizzato come un vero e proprio strumento di misura continua della rigidezza del suolo compattato. Può essere applicato per fornire una prova della bontà e della omogeneità della compattazione realizzata, vedi figura 7.6.

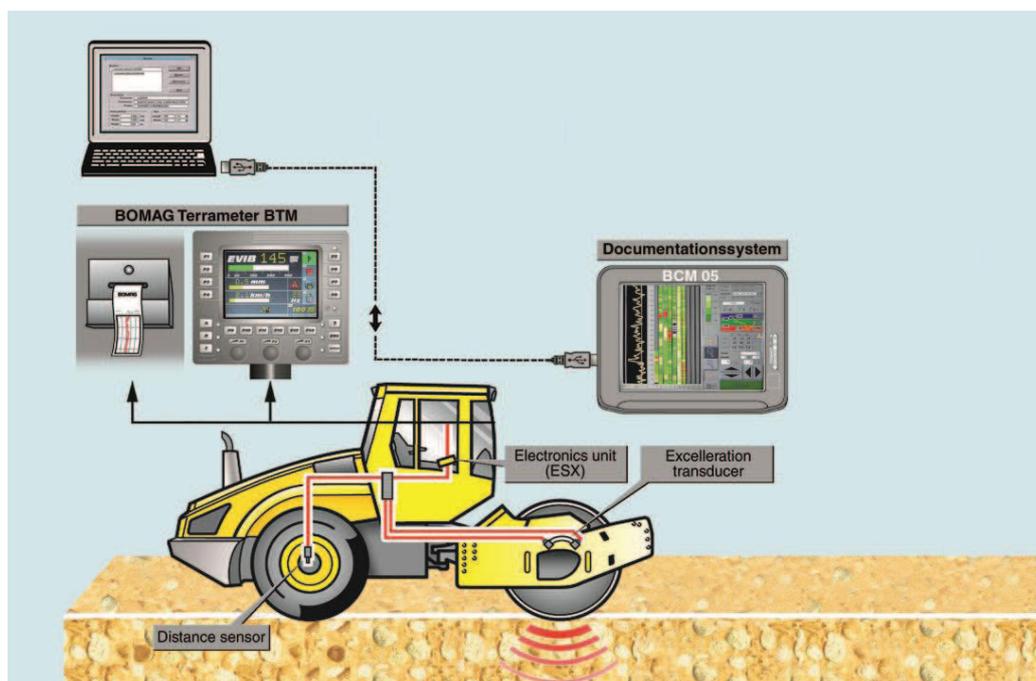


Figura 7. 7: Schema raccolta ed elaborazione dati tramite rullo Bomag IC

Si è verificato durante la sperimentazione in campo che una volta arrivato al grado di costipamento massimo, funzione sia dell'umidità del terreno che dell'energia di costipamento, il terreno stesso non incrementa le proprie caratteristiche meccaniche con successive passate.

- **Layer 1**

Il layer 1 è stato effettuato in modo tale che i due campi da 15 x 5 con lo stesso materiale fossero affiancati in modo tale da formare una stesa di 15 x 10 di materiale dello stesso tipo vedi figura 7.8.

Su tale layer sono state stese le miscele X, formata da 50% di misto riciclato ( materiale B) e 50% di riciclato di calcestruzzo ( materiale A), e Z formata da 70% di misto riciclato ( materiale B) e 30% di AG matrix ( materiale E).



Figura 7. 8: Stesa miscela Z

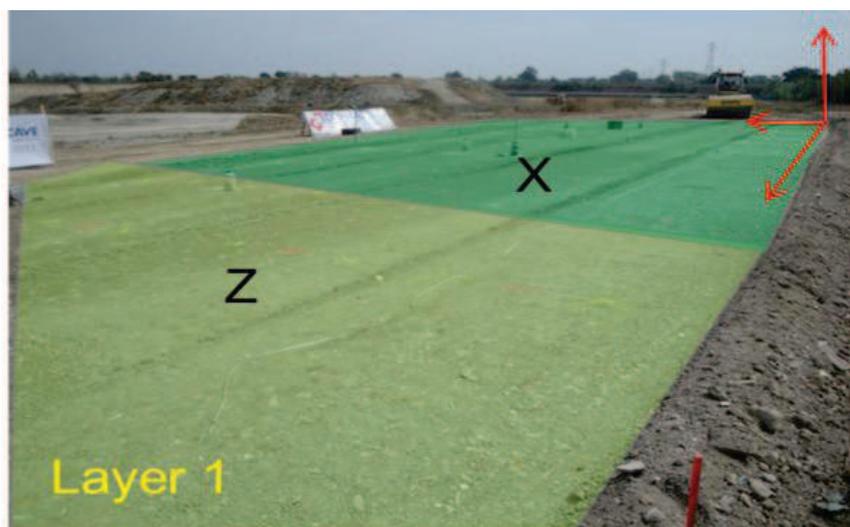


Figura 7. 9: Schema di posa delle miscele Z e X

Prima della compattazione, a seguito di una verifica visiva dell'umidità della miscela, si è proceduto a un'umidificazione del materiale steso e livellato a mezzo autobotte in modo tale da avvicinare l'umidità delle due miscele a quella ottimale proctor anche se le modalità di erogazione dell'acqua con autobotte, pur essendo l'unico metodo possibile in cantiere non fornisce risultati ottimali.

Come per il sottofondo si è inoltre proceduto alla divisione del campo prove in più quadranti e alla marcatura delle prove in ogni quadrante come riportato in seguito



Figura 7. 10: Layer 1 con marcatura dei vari punti in cui eseguire le prove

- **Layer 2**

Sul secondo layer si è proceduto alla stesa delle altre due miscele legate: J e K in direzione perpendicolare a quelle non legate, in modo tale che i campi da 15 x 5 con lo stesso materiale non fossero più uno a fianco all'altro ma uno davanti all'altro formando un rettangolo di stesa dello stesso materiale di 30 x 5.

In figura 7.11 è riportata l'esatta ubicazione di ogni miscela.

In seguito ad una disposizione di questo tipo si ha che in ogni quadrante ho una combinazione differente di miscele legate e non in modo tale da avere un numero maggiore di dati da poter studiare.

Ricordiamo che il materiale J è formato da 50% di misto riciclato ( materiale B) e 50% di riciclato di calcestruzzo ( materiale A) il tutto legato al 2,5%, e che il materiale Z è formato da 70% di misto riciclato ( materiale B) e 30% di AG matrix ( materiale E), il tutto legato sempre al 2.5%.

Inoltre si ricorda anche che il legante era così suddiviso: 50% cemento 425 e 50% ceneri volanti

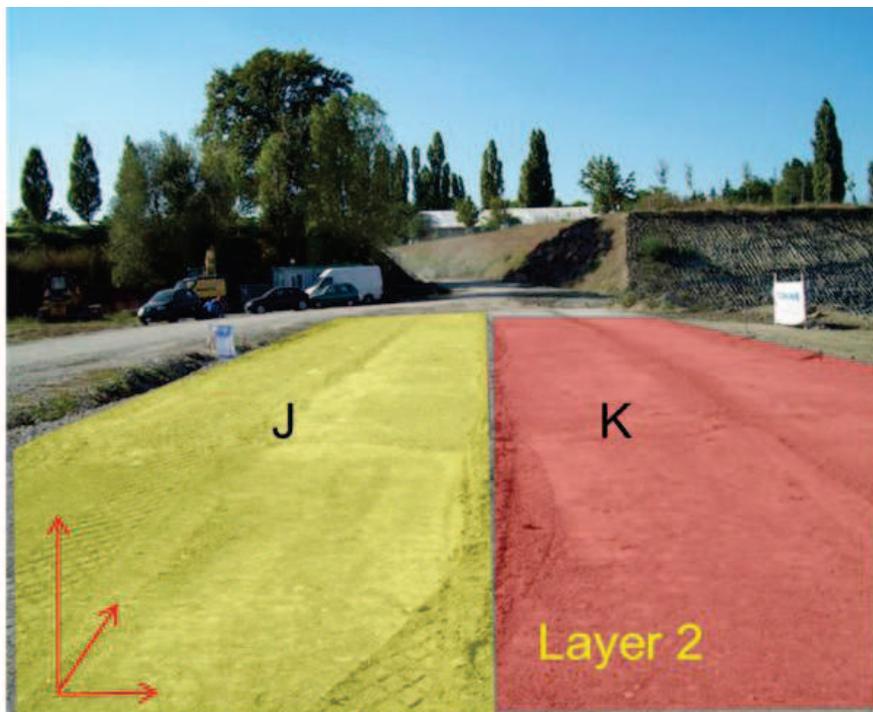


Figura 7. 11: Schema di posa delle miscele J e K

La seguente disposizione impone che, dai dati trovati in laboratorio, la combinazione X-J fornisca valori in termini prestazionali migliori e la combinazione Z-K peggiori. Diventa interessante per il committente valutare questo divario e anche il divario fra le altre due coppie di materiali per poi proporre sul mercato tali miscele.

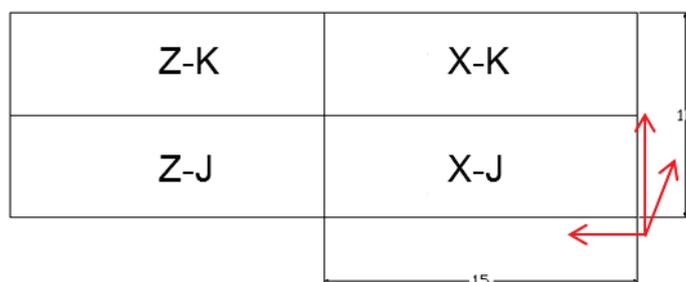


Figura 7. 12: Combinazione delle miscele di inerti per ogni quadrante

### 7.3 CONTROLLI IN OPERA

Le fasi di testing dei 3 piani di indagine sono state eseguite su tutti i campi 15x5 secondo una griglia prestabilita. Si ricorda che per il layer 1 i materiali dello stesso tipo sono collocati in campi 5x15 di prova consecutivi mentre per il layer 2 in campi adiacenti.

Le prove da eseguire in sito, una volta compattati gli strati, sono state le seguenti:

- prove di addensamento ed umidità in sito;
- granulometrie (prelievo di materiale);
- prove con deflettometro leggero LWD (PFWDz) ad accelerometro e a geofono (PFWDd);
- prove con deflettometro pesante FWD;
- prove penetrometriche DCP (facoltativo);

per quello che riguarda il seguente studio si ci è limitati alle prime due voci.

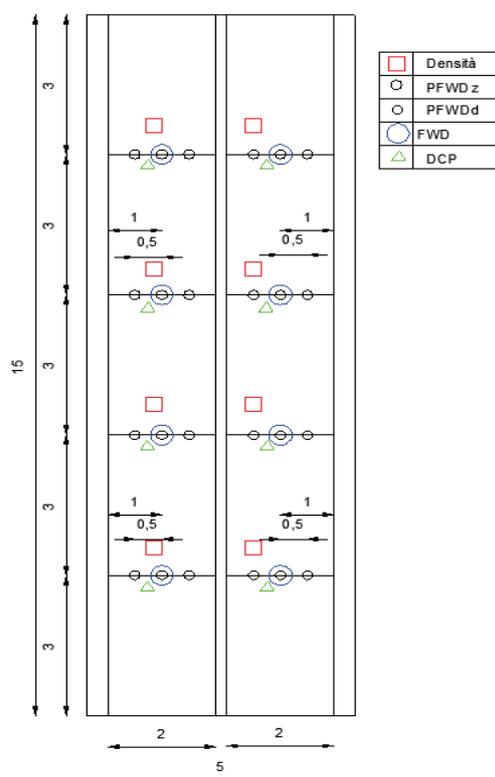


Figura 7. 13: Ubicazione prove all'interno di ogni quadrante

### 7.3.1 Qualifica dei terreni in sito

All'atto dell'inizio della sperimentazione è stato eseguito un campionamento del terreno in sito e della bonifica per poterne effettuare la caratterizzazione tramite analisi granulometrica UNI EN 933-1.

Le modalità di esecuzione della prova sono le stesse riportate nel capitolo 5.

Dalle figure 7.13 e 7.14 si può notare che il terreno in sito e per la quasi totalità fine ed effettivamente non idoneo per una pavimentazione stradale, risulta quindi corretta l'asportazione e la successiva sostituzione con un altro terreno più idoneo.

Per quanto riguarda la bonifica si tratta di materiale vergine estratto direttamente dalla cava e non trattato in alcun modo.

Visivamente sembra composto esclusivamente da ciottolato e sabbia, situazione riscontrabile anche da curva granulometrica discontinua.

Particolarmente gravosa è stata la granulometria del terreno in quanto il lavaggio si è dimostrato particolarmente impegnativo poiché il terreno molto argilloso non lasciava filtrare l'acqua.

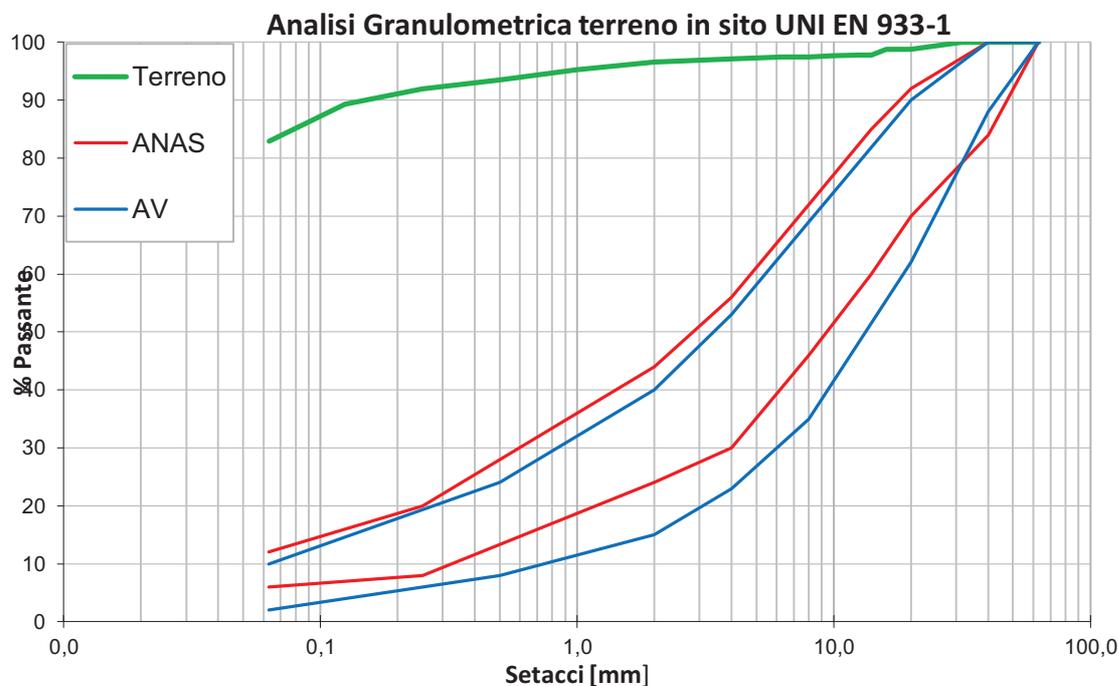


Figura 7. 14: Curva granulometrica terreno in sito UNI EN 933-1

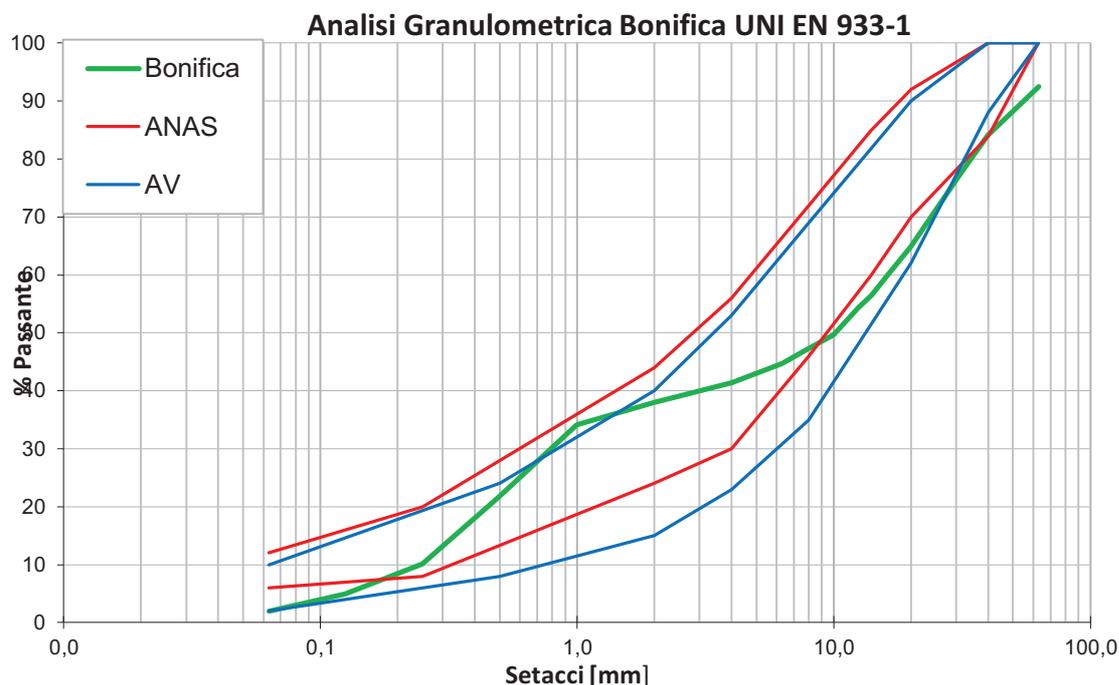


Figura 7. 15: Curva granulometrica terreno in sito UNI EN 933-1

Sui campioni sono poi stati effettuati i limiti di Attemberg per poterne fornire una classificazione, i risultati sono riportati nella tabella seguente

<i>Bonifica</i>		<i>Terreno</i>	
<i>Limite Liquido [%]</i>	21,35	<i>Limite Liquido [%]</i>	39,65
<i>Limite Plastico [%]</i>	N.P.	<i>Limite Plastico [%]</i>	22,70
<i>Indice Plastico</i>	N.D.	<i>Indice Plastico</i>	16,95

Tabella 7. 1: Risultati limiti di Attemberg campioni Terreno e Bonifica

Tali risultati rispecchiano ciò che è stato detto sopra in quanto il terreno ha elevata plasticità mentre per i depositi fluviali estratti dalla cava la plasticità è praticamente nulla.

### 7.3.2 Massa volumica apparente di una terra

Come già anticipato il secondo step di controlli è stato eseguito sulla densità e umidità in sito del materiale steso, layer per layer, utilizzando come norma di riferimento la **CNR BU 22**.

Per determinare la densità in sito, il procedimento è articolato nelle seguenti fasi:

- Si scava una porzione di terreno e si determina il peso ( $p$  terra), tale campione viene poi inserito in una busta chiusa ermeticamente per poi essere portato in laboratorio ed essere seccato in forno ventilato fino ad ottenere una massa costante.

A questo punto tramite la formula

$$w\% = \frac{P_S - P_W}{P_S}$$

ottengo la percentuale d'acqua contenuta nel campione in sito

- Si misura quindi il volume di terreno scavato ( $V_t$ ), mediante l'utilizzo di sabbia monogranulare che, avendo tale caratteristica, non si compatta e ha un preciso peso specifico; un contenitore di plastica per contenerla e un imbuto da applicare all'estremità del contenitore per la sabbia di volume conosciuto e provvisto di rubinetto per fermare l'uscita della sabbia.

Le modalità operative sono le seguenti: dapprima si pesa il contenitore con la sabbia dentro.

Successivamente si ribalta il contenitore sopra la buca e aprendo il rubinetto si fa defluire la sabbia finché non ha riempito pienamente la buca e il cono.

Si torna quindi a chiudere il rubinetto in modo tale che non esca più sabbia e si pesa nuovamente il contenitore con la sabbia rimasta dentro.

Facendo la differenza tra i due pesi si determina il peso della sabbia necessaria per riempire la buca e di conseguenza avendo peso specifico costante anche il volume.

Togliendo infine il volume del cono si determina in modo preciso il volume della buca.

Tramite l'espressione

$$\gamma_{dry} = \frac{P_S}{V}$$

è possibile determinare il peso specifico secco del terreno in sito che sarà poi confrontato con il valore riscontrato in laboratorio.

Perché la compattazione sia buona bisogna arrivare ad avere in sito almeno il 95% della densità misurata in laboratorio tramite prova proctor, in caso contrario bisogna agire o sull'umidità delle miscele o sull'energia di costipamento.

È comunque possibile che si superi il 100% perché, anche se a umidità ottimale, aumentando l'energia di costipazione si aumenta la densità.

Nelle tabelle di seguito vengono riportati i risultati ottenuti per i vari layer in ogni rilievo.

<b>SOTTOFONDO</b>					
<i>NORD</i>					
<b>O V E S T</b>	$\gamma_{dry} =$	$\gamma_{dry} =$	$\gamma_{dry} =$	$\gamma_{dry} =$	<b>E S T</b>
	1954	2008	1995	1934	
	$w_{\%} =$	$w_{\%} =$	$w_{\%} =$	$w_{\%} =$	
	2,7	2,3	2,9	2,8	
	$\gamma_{dry} =$	$\gamma_{dry} =$	$\gamma_{dry} =$	$\gamma_{dry} =$	
	1943	1968	1983	1960	
	$w_{\%} =$	$w_{\%} =$	$w_{\%} =$	$w_{\%} =$	
	2,9	2,4	3,2	2,3	
	$\gamma_{dry} =$	$\gamma_{dry} =$	$\gamma_{dry} =$	$\gamma_{dry} =$	
	1951	2002	1992	1928,9	
	$w_{\%} =$	$w_{\%} =$	$w_{\%} =$	$w_{\%} =$	
	3,2	2,2	2,3	2,8	
	$\gamma_{dry} =$	$\gamma_{dry} =$	$\gamma_{dry} =$	$\gamma_{dry} =$	
	1970	1965	1971	1939	
	$w_{\%} =$	$w_{\%} =$	$w_{\%} =$	$w_{\%} =$	
	2,3	2,3	2,9	2,7	
<i>SUD</i>					

**Tabella 7. 2:** Risultati densità secca e umidità in sito Sottofondo

<b>MISTO RICICLATO</b>				
<i>NORD</i>				
<i>O V E S T</i>	$\gamma_{dry} =$	$\gamma_{dry} =$	$\gamma_{dry} =$	$\gamma_{dry} =$
	1976	1889	1945	1959
	$w_{\%} =$	$w_{\%} =$	$w_{\%} =$	$w_{\%} =$
	8,7	8,8	8,4	8,2
	$\gamma_{dry} =$	$\gamma_{dry} =$	$\gamma_{dry} =$	$\gamma_{dry} =$
	1993	1919	1956	1981
	$w_{\%} =$	$w_{\%} =$	$w_{\%} =$	$w_{\%} =$
	7,7	7,7	8,1	8,1
	$\gamma_{dry} =$	$\gamma_{dry} =$	$\gamma_{dry} =$	$\gamma_{dry} =$
	1903	1990	1925	1970,9
	$w_{\%} =$	$w_{\%} =$	$w_{\%} =$	$w_{\%} =$
	8,2	8,6	8,0	8,2
$\gamma_{dry} =$	$\gamma_{dry} =$	$\gamma_{dry} =$	$\gamma_{dry} =$	
1880	1987	1930	1965	
$w_{\%} =$	$w_{\%} =$	$w_{\%} =$	$w_{\%} =$	
8,1	8,7	8,4	8,2	
<i>SUD</i>				

<i>Miscela Z</i> 50% Misto Riciclato 50% Calcestruzzo
<i>Miscela X</i> 70% Misto Riciclato 30% AG Matrix

**Tabella 7. 3 :** Risultati densità secca e umidità in sito layer 1

<b>MISTO RICICLATO CEMENTATO</b>				
<i>NORD</i>				
<b>O V E S T</b>	$\gamma_{dry} =$	$\gamma_{dry} =$	$\gamma_{dry} =$	$\gamma_{dry} =$
	1599	1732	1644	1661
	$w_{\%} =$	$w_{\%} =$	$w_{\%} =$	$w_{\%} =$
	10,2	10,4	10,7	10,5
	$\gamma_{dry} =$	$\gamma_{dry} =$	$\gamma_{dry} =$	$\gamma_{dry} =$
	1570	1730	1648	1666
	$w_{\%} =$	$w_{\%} =$	$w_{\%} =$	$w_{\%} =$
	10,6	10,5	10,9	10,6
	$\gamma_{dry} =$	$\gamma_{dry} =$	$\gamma_{dry} =$	$\gamma_{dry} =$
	1583	1671	1645	1689,5
	$w_{\%} =$	$w_{\%} =$	$w_{\%} =$	$w_{\%} =$
	10,2	10,3	10,1	11,2
	$\gamma_{dry} =$	$\gamma_{dry} =$	$\gamma_{dry} =$	$\gamma_{dry} =$
	1612	1710	1624	1680
	$w_{\%} =$	$w_{\%} =$	$w_{\%} =$	$w_{\%} =$
	10,3	10,6	11,0	10,6
<i>SUD</i>				

<i>Miscela J</i>	<i>Miscela K</i>
<i>50% Misto Riciclato</i>	<i>70% Misto Riciclato</i>
<i>50% Calcestruzzo</i>	<i>30% AG Matrix</i>
<i>1,25% Cemento 4,25</i>	<i>1,25% Cemento 4,25</i>
<i>1,25% Ceneri Volanti</i>	<i>1,25% Ceneri Volanti</i>

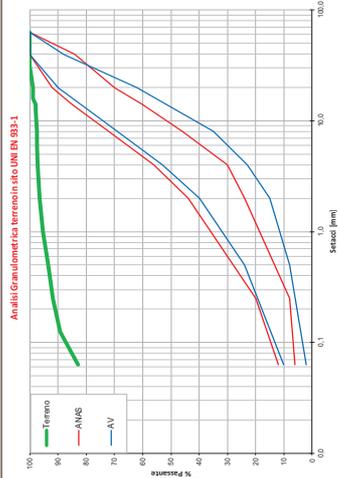
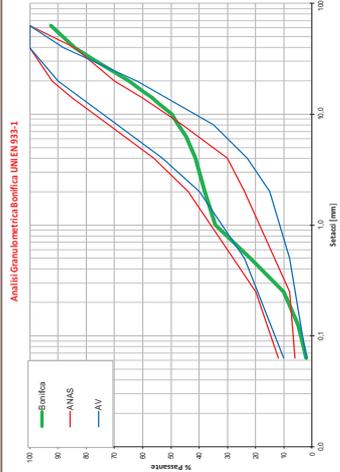
**Tabella 7. 4:** Risultati densità secca e umidità in sito layer 2

Di seguito si riporta una tabella riassuntiva dei valori medi rilevati per layer e per strato delle umidità e densità e il loro raffronto con i risultati di laboratorio

Descrizione		SITO		LABORATORIO	
Strato	Materiale	Densità secca media [kg/cm <sup>3</sup> ]	Umidità media [%]	Densità secca massima [kg/cm <sup>3</sup> ]	Umidità ottimale [%]
SOTTOFONDO	BONIFICA	1967	2,6	-	-
LAY 1	X	1954	8,2	1981	10,9
	Z	1942	8,3	1906	10,4
LAY 2	J	1657	10,7	1938	10,7
	K	1651	10,4	1906	10,4

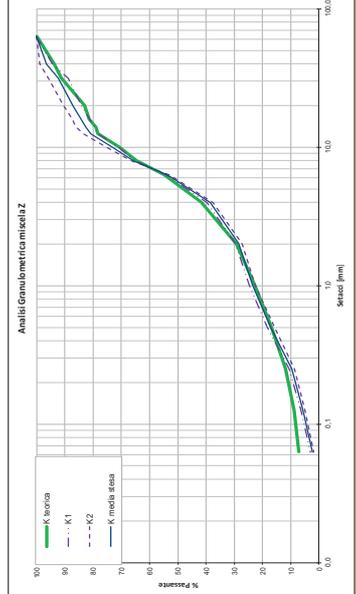
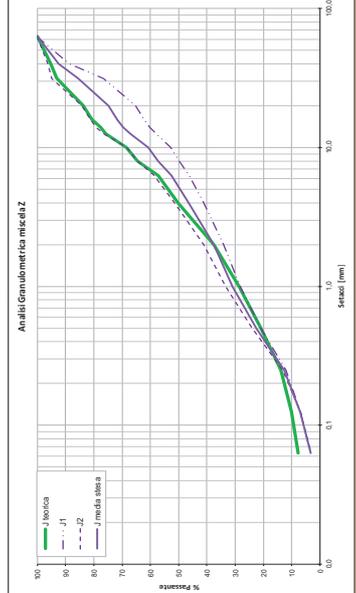
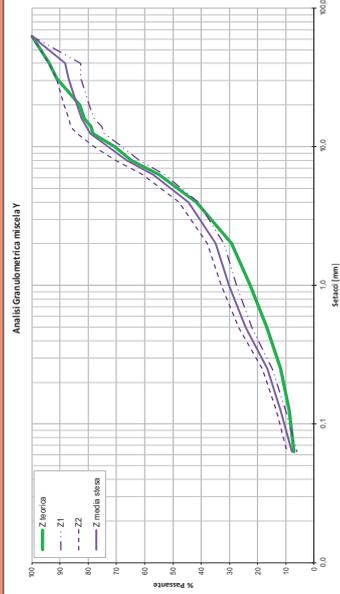
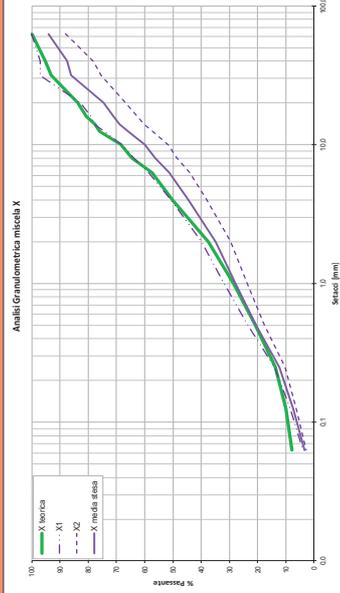
**Tabella 7. 5:** Raffronto valori medi ottenuti in sito con risultati di laboratorio

Classifica terreni in sito



Bonifica		Terreno	
Limite Liquido (N)	21,35	Limite Liquido (N)	39,65
Limite Plastico (N)	N.P.	Limite Plastico (N)	22,70
Indice Plastico	N.D.	Indice Plastico	16,55
Classifica bonifica	A2-4	Classifica terreno	A7-6

Materiali stesi





## CONCLUSIONI

Da una demolizione selettiva e un buon metodo di riciclaggio di C&D si possono ricavare ottime miscele per la realizzazione di sottofondi e fondazioni.

Nel corso dello studio è però emersa grande variabilità dei materiali da un campionamento al quello successivo. Risultano perciò sempre più importanti controlli frequenti sulle caratteristiche fisiche e meccaniche di tali.

Risultati di tutto rilievo li ha forniti il materiale A, composto in gran parte da calcestruzzo macinato e caratterizzato da inerti estremamente nobili, che ha portato a valori di CBR estremamente elevati.

Per ricerche future si ritiene possa essere molto interessante effettuare un raffronto fra tale materiale e miscele d'inerti vergini normalmente utilizzate negli ambiti di studio in quanto si ritiene che le caratteristiche prestazionali possano addirittura essere superiori.

Gli altri materiali, che risultano con caratteristiche nettamente inferiori rispetto a quelli composti da calcestruzzi, sono comunque utilizzabili se opportunamente miscelati con inerti più nobili.

A tal proposito si auspica una maggiore sensibilizzazione dei capitolati tecnici in tal senso con il graduale aggiornamento degli stessi a tali pratiche.

Per quanto concerne le miscele legate, appaiono evidenti le ottime capacità meccaniche che forniscono tali materiali anche con minime quantità di legante.

Particolare importanza ha rivestito il problema dell'umidità ottima in cantiere delle miscele che riveste un ruolo chiave sulla compattabilità del materiale in sito. Si suggerisce quindi uno studio a monte, all'interno dell'impianto, dell'umidità ottimale in quanto, pur tenendo presente che durante il tragitto l'umidità cala, sia comunque realizzabile, con appositi sistemi, un contenuto d'acqua ottimale già all'impianto.

Ciò porterebbe risultati molto rilevanti in termini prestazionali in modo tale da poter permettere da una parte l'utilizzo di materiali sempre meno pregiati, spingendo maggiormente sul riciclo e dall'altra richiedendo spessori sempre meno importanti con un beneficio in termini di impatti e di costi delle opere non indifferente.

Sistemi di questo tipo sono in oltre già utilizzati in altri settori e potrebbero essere facilmente adeguati all'utilizzo in tale ambito.



## BIBLIOGRAFIA

- [1]: Ing. C. Lantieri - *“La valorizzazione di scarti per la produzione di materiali da costruzione sostenibili e ad alta efficienza ambientale ed energetica”* – Presentazione di ricerca - DICAM, Alma Mater Studiorum, Università di Bologna.
- [2]: *“Rifiuti inerti da C&D”* - L'Italia del riciclo 2011.
- [3]: E. Antonini, A. Costa, A. Perrotta - *“Demolire per riciclare: strumenti e procedure per la valorizzazione dei rifiuti da costruzione e demolizione”* - Convegno internazionale: *“Crolli e affidabilità delle strutture civili”* – Maggio 2003.
- [4]: Donati, Antonini – *“Il mattone ritrovato”* - Bologna 2004.
- [5]: Decreto Legislativo 5 Febbraio 1997 n.22 (Decreto Ronchi), attuazione delle Direttive 91/156/CEE sui rifiuti, 91/689/CEE sui rifiuti pericolosi, 94/62/CEE sugli imballaggi e sui rifiuti da imballaggio.
- [6]: Decreto Ministeriale 5 febbraio 1998, con modifiche introdotte dal D.M. 9 gennaio 2003, dal D.M. 27 luglio 2004 e dal D.M. 5 aprile 2006, n.186
- [7]: [www.rete.toscana.it](http://www.rete.toscana.it)
- [8]: Testo Unico sull'Ambiente- Decreto Legislativo 3 aprile 2006, n. 152, recante norme in materia ambientale.
- [9]: Decreto Legislativo 16 gennaio 2008, n.4, “Ulteriori disposizioni correttive ed integrative del decreto legislativo 3 aprile 2006, n.152, recante norme in materia ambientale”.
- [10]: Decreto del Ministero dell'Ambiente 203/2003.
- [11]: Circolare n. 5205 del 15 luglio 2005, pubblicata in GU n. 171 del 2005.
- [12]: Accordo di programma per il recupero dei residui da costruzione e demolizione nella Provincia di Bologna approvata da Consiglio Provinciale con Delibera n.70 del 24/07/2001 e modificato con Delibera Consiliare n.90 del 23/07/2002.
- [13]: *Capitolato speciale d'appalto – Prescrizioni tecniche* - Autostrada del Brennero s.p.a..

- [14]: *Capitolato speciale d'appalto - Norme Tecniche – ANAS s.p.a..*
- [15]: *Capitolato speciale d'appalto - Norme Tecniche – Concessioni autostradali venete s.p.a..*
- [16]: UNI CEN ISO/TS 17892-12 - *“Prove di laboratorio sui terreni, parte 12: determinazione limiti di Atterberg”.*
- [17]: UNI EN 933-1 - *“Prove per determinare le caratteristiche geometriche degli aggregati,  
parte 1: Determinazione della distribuzione granulometrica - Analisi granulometrica per setacciatura”.*
- [18]: UNI EN 933-2 - *“Prove per determinare le caratteristiche geometriche degli aggregati,  
parte 2: Determinazione della distribuzione granulometrica - Stacci di controllo, dimensioni nominali delle aperture”.*
- [19]: UNI EN 933-11 - *“Prove per determinare le caratteristiche geometriche degli aggregati  
parte 11: Prova di classificazione per i costituenti degli aggregati grossi riciclati”.*
- [20]: UNI EN 933-4 - *“Prove per determinare le caratteristiche geometriche degli aggregati, parte 4: Determinazione della forma dei granuli - Indice di forma”.*
- [21]: UNI EN 933-3 - *“Prove per determinare le caratteristiche geometriche degli aggregati, parte 4: Determinazione della forma dei granuli - Indice di appiattimento”.*
- [22]: UNI EN 1097-7 - *“Prove per determinare le proprietà meccaniche e fisiche degli aggregati - parte 7: Determinazione della massa volumica del filler – Metodo con picnometro”*
- [23]: UNI EN 1097-6 - *“Prove per determinare le proprietà meccaniche e fisiche degli aggregati - parte 6: Determinazione della massa volumica dei granuli e dell'assorbimento d'acqua”.*
- [24]: UNI EN 1097-6 - *“Prove per determinare le proprietà meccaniche e fisiche degli*

*aggregati - determinazione della massa volumica in mucchio e dei vuoti intergranulari”.*

[25]: UNI EN 1097-2 – *“Prove per determinare le proprietà meccaniche e fisiche degli aggregati – determinazione della resistenza alla frammentazione degli aggregati grossi, prova Los Angeles”.*

UNI EN 933-3 - *“Prove per determinare le caratteristiche geometriche degli aggregati, parte 4: valutazione dei fini, prova dell’equivalente in sabbia”.*

[27]: J. Facciorusso, C. Madiati, G. Vannucchi – *Dispense di Geotecnica* - Dipartimento di Ingegneria Civile – Sezione Geotecnica, Università degli Studi di Firenze ( Febbraio 2007).

[28]: CNR UNI 10009



*Comincio con il ringraziare la mia morosa Benedetta, che in questi anni ha saputo essere per mè molto più che un'amica, ed è sempre stata disponibile nei momenti in cui avevo bisogno essendo l'aiuto e il sostegno più grande.*

*Ringrazio i miei genitori, Vincenzo e Lidia, per avermi dato la possibilità di poter conseguire tale titolo di studio e di avermi incoraggiato e sostenuto, insieme a mia sorella Chiara, nei momenti più difficili.*

*Grazie anche ai miei professori: Cesare, Matteo e soprattutto Claudio che oltre che essersi dimostrati persone molto competenti e serie hanno saputo essere anche veri amici creando un ottimo clima in cui poter studiare in serietà e serenità.*

*Un grazie speciale va anche agli altri prof del dipartimento Volta, Simone, Vignali e tutti gli altri prof del dipartimento a cui auguro di crescere sempre in competenze e di potersi affermare sempre più.*

*Non posso inoltre dimenticare i tecnici di laboratorio: Ettore ed Elio che mi hanno saputo dare sempre ottimi consigli e un valido aiuto.*

*Ringrazio anche tutti i miei amici: Sem, Elly, Fosca, Frappy, Flo, Laura, Gabry, Piccio, Gabri, Baccio, Ire.*

*Siete stati veramente dei gran compagni di studio, spero di avervi fatto divertire almeno la metà di quello che mi avete fatto divertire voi.*

*Grazie anche agli amici di tutti i giorni: Simmiaun, Marty, Poolo, Vale, Baschio, Marchino, Marcy e Luci che mi sono sempre vicini.*

*Grazie a tutti Boldrini Stefano*

