



GRANELLA®
PER LA FORMAZIONE
DEL CORPO STRADALE



1 – PREMESSA

Ferriere Nord S.p.A. ha commissionato alla Geotech Engineering S.r.l. uno studio volto a qualificare un prodotto di origine siderurgica, la Granella[®], quale aggregato da impiegare per la formazione del corpo stradale.

Gli stabilimenti Ferriere Nord di Osoppo (Ud) e Siderpotenza di Potenza, hanno quale scopo sociale la produzione di acciai strutturali e aggregati industriali. Questi ultimi derivano da un ciclo produttivo che è finalizzato alla produzione di aggregati per opere di ingegneria civile. Infatti, accanto alle ferriere sorgono gli impianti che lavorano i materiali degli stabilimenti siderurgici, realizzando aggregati per conglomerati bituminosi, cementizi e corpi stradali.

L'affidabilità dei diversi aggregati ottenuti è garantita dalla omogeneità delle materie prime lavorate dall'impianto di frantumazione, nonché dall'efficace piano di controllo produttivo (FPC) conforme ai requisiti della Marcatura CE dei materiali da costruzione (*Regolamento Europeo 305/2011*). Marcatura CE che ne consente, nel rispetto della normativa europea sui prodotti da costruzione, l'immissione e la libera circolazione su tutto il mercato europeo. Quindi, gli aggregati della Ferriere Nord sono, sia per la legislazione italiana sia per l'intera CEE, dei prodotti.

Tra gli aggregati commercializzati ci sono quelli denominati "Granella 0-4 mm" e "Granella 0-8 mm".

Uno degli usi previsti per questi prodotti è quello della norma *UNI EN 13242: "Aggregati per materiali non legati e legati con leganti idraulici per l'impiego in opere d'ingegneria civile e nella costruzione delle strade"*.

2 – CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEGLI AGGREGATI

In questo capitolo si vuole fornire un quadro delle caratteristiche degli aggregati Granella 0-4 e Granella 0-8, nonché delle miscele ottenibili mediante aggiunta di cemento per la produzione di un materiale idoneo alla formazione del rilevato e della fondazione stradale.

2.1 – Granella[®] 0-4

Le prove di laboratorio hanno valutato sia le caratteristiche fisiche che meccaniche della Granella 0-4. I valori più significativi dei parametri delle prove inerenti le sue proprietà fisiche sono riassunti nelle Tabelle 1 e 2.

VALORE	8.0 mm	6.3 mm	4.0 mm	2.0 mm	1.0 mm	0.5 mm	0.063 mm
Minimo	100.0	99.7	83.6	29.3	9.6	3.5	0.7
Massimo	100.0	100.0	97.8	69.0	39.5	17.9	4.7
Medio	100.0	99.9	92.2	52.8	23.9	9.5	2.6

Tabella 1 – Granella 0-4: riepilogo analisi granulometriche

VALORE	W %	2.0 mm	0.063 mm	LL	IP	UNI 11531-1	MVR g/cm ³	DSM g/cm ³	CAO %
Minimo	1.8	29.3	0.7	n.d.	n.p.	A _{1a} / A _{1b}	3,952	2,585	4,3
Massimo	3.5	69.0	4.7	n.d.	n.p.				
Medio	2.7	52.8	2.6	n.d.	n.p.				

Tabella 2 – Granella 0-4: riepilogo caratteristiche fisiche ¹

Nel Grafico 1 è osservabile il fuso granulometrico, nonché la curva minima, massima e media, i cui valori sono stati ricavati dalle numerose granulometrie effettuate.

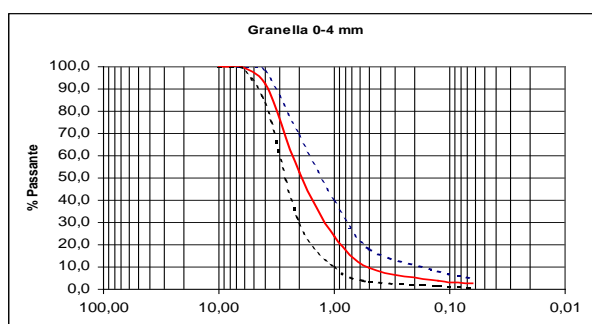


Grafico 1 - Granella 0-4: fuso granulometrico

Le prove eseguite sulla Granella 0-4 hanno permesso di individuare l'appartenenza di questo aggregato al gruppo A1 della classificazione UNI 11531-1, ovvero a ghiaia sabbiosa di ottima qualità. Il fuso granulometrico è risultato abbastanza stretto, con la curva media posizionata al centro del fuso, a dimostrazione che la sua produzione è avvenuta in modo omogeneo e costante nel tempo. Inoltre, il peso specifico reale dei grani dell'aggregato è risultato alto (3,952 g/cm³) e compatibile con la natura petrografica del materiale, conseguentemente la prova di costipamento Proctor Modificata ha fornito un valore di densità secca massimo elevato (2,585 g/cm³), mentre il contenuto d'acqua ottimale è risultato relativamente basso (4,3%).

¹ **W%** = umidità; **2 mm** = percentuale passante al setaccio UNI da 2 mm; **0.063 mm** = percentuale passante al setaccio UNI da 0.063 mm; **LL** = limite liquido n.d (non determinabile); **IP** = indice di plasticità n.p. (non plastico); **UNI 11531-1** = normativa classificazione; **MVR** = massa volumica reale; **DSM** = densità secca massima e **CAO** = contenuto acqua ottimale del Proctor Modificato.

Una volta individuate le caratteristiche fisiche della Granella 0-4, se ne è analizzato il comportamento meccanico mediante la determinazione dell'Indice di Portanza Immediata (IPI) al variare del contenuto d'acqua (Tabella 3).

W%	IPI (2.5)	IPI (5.0)
1.3	41	54
2.5	88	105
3.8	104	109
5.3	84	101
6.8	65	81

Tabella 3 – Granella 0-4: IPI al variare del contenuto d'acqua

L'indice di portanza immediata, come osservabile in tabella, vale oltre 100, evidenziando una capacità portante, per contenuti d'acqua prossimi all'ottimale, elevata. A completamento delle prove di portanza, si è determinato anche il coefficiente CBR e il corrispondente rigonfiamento dopo quattro giorni di imbibizione in acqua (Tabella 4). Il valore della portanza CBR diminuisce di poco rispetto a quanto ottenuto immediatamente dopo compattazione, mentre il rigonfiamento è nullo.

Wi %	Wf %	CBR (96 ore)		Rig. %
		(2.5)	(5.0)	
5,3	8,7	56	73	0
5,4	8,9	70	80	0

Tabella 4 – Granella 0-4: CBR in imbibizione

2.2 – Granella® 0-8

I valori più significativi dei parametri delle prove inerenti le proprietà fisiche della Granella 0-8 sono riassunti nelle Tabelle 5 e 6. Anche per questo aggregato è stato determinato il fuso granulometrico, nonché la curva minima, massima e media delle numerose granulometrie eseguite (Grafico 2).

Dalle prove effettuate, la Granella 0-8 può essere descritta, dal punto di vista geotecnico, come una ghiaia sabbiosa, non plastica e con poco fino, appartenente al sottogruppo A1-a della classificazione UNI 11531-1.

VALORE	8.0 mm	6.3 mm	4.0 mm	2.0 mm	1.0 mm	0.5 mm	0.063 mm
Minimo	99.4	76.2	18.4	3.2	2.1	1.8	0.5
Massimo	100.0	100.0	59.4	30.8	14.7	7.2	1.7
Medio	99.9	91.6	48.2	21.9	9.7	4.0	1.1

Tabella 5 – Granella 0-8: riepilogo analisi granulometriche

VALORE	W %	2.0 mm	0.063 mm	LL	IP	UNI 11531-1	MVR g/cm ³	DSM g/cm ³	CAO %
Minimo	0.4	3.2	0.5	n.d.	n.p.	A _{1-a}	3,817	2,340	3,5
Massimo	4.0	30.8	1.7	n.d.	n.p.				
Medio	1.7	21.9	1.1	n.d.	n.p.				

Tabella 6 – Granella 0-8: riepilogo caratteristiche fisiche

Le prove eseguite sulla Granella 0-8 hanno permesso di individuare l'appartenenza di questo aggregato al gruppo A1 della classificazione UNI 11531-1, ovvero a ghiaia sabbiosa di buona qualità. La sua massa volumica reale, grazie alla natura petrografica della Granella®, è risultata elevata e, conseguentemente, la prova di costipamento Proctor Modificata ha fornito un valore alto della densità secca massima (2,340 g/cm³), mentre il contenuto d'acqua ottimale è abbastanza basso (3,5%).

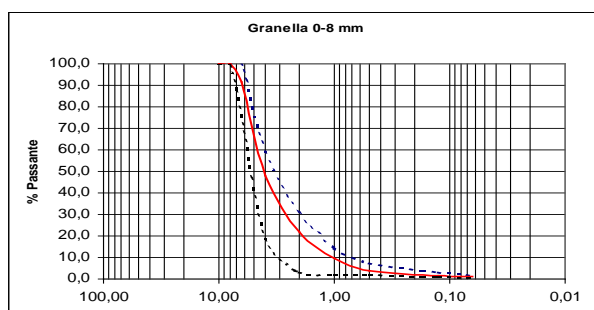


Grafico 2 - Granella 0-8: fuso granulometrico

Note le caratteristiche fisiche della Granella 0-8, è stato analizzato il suo comportamento meccanico mediante la determinazione dell'Indice di Portanza Immediata (Tabella 7), verificandone la variazione al variare del contenuto d'acqua, nonché di portanza CBR e il corrispondente rigonfiamento dopo quattro giorni di imbibizione in acqua (Tabella 8). La Granella 0-8 possiede, in condizioni d'umidità prossime all'ottimale, una buona portanza. Inoltre, il CBR dopo maturazione in imbibizione mostra un valore ancora elevato, mentre il rigonfiamento è nullo.

W %	IPI (2.5)	IPI (5.0)
0.9	80	100
2.7	71	74
3.4	49	54
3.7	42	49
4.5	39	46
4.8	36	43

Tabella 7 – Granella 0-8: IPI al variare del contenuto d'acqua

Wi %	Wf %	CBR (96 ore)		Rig. %
		(2.5)	(5.0)	
4,2	5,3	71	82	0
4,5	5,5	48	53	0

Tabella 8 – Granella 0-8: CBR in imbibizione

A conclusione di quanto sopra esposto, le caratteristiche geotecniche degli aggregati siderurgici possono essere sintetizzati come segue:

- **Granella 0-4:** classificata come appartenente al gruppo A1 della norma UNI 11531-1, ovvero descrivibile come ghiaia sabbiosa, con bassa percentuale di vuoti, possiede un fuso granulometrico stretto, a dimostrazione di un elevato grado di omogeneità produttiva; la sua massa volumica reale dei grani è molto alta e conseguentemente il suo valore di densità secca massima, mentre il contenuto d'acqua ottimale è relativamente basso; infine, possiede una capacità portante, sia immediata che dopo imbibizione, elevata;
- **Granella 0-8:** appartenente anche essa al gruppo A₁ della classificazione UNI 11531-1, è descrivibile come ghiaia sabbiosa povera in fino, non plastica, mentre dal punto di vista granulometrico si presenta meno assortita; alla prova di costipamento fornisce un valore di densità secca massima elevato e un contenuto d'acqua ottimale basso; inoltre, la sua capacità portante, immediata e in imbibizione, è buona.

3 – CARATTERISTICHE DELLE MISCELE LEGATE A CEMENTO

Per la progettazione di una strada è necessario considerare le caratteristiche meccaniche dei materiali impiegati nella fondazione stradale. I controlli previsti dalle specifiche tecniche dei capitolati richiedono, oltre il rispetto di taluni parametri fisici, determinati valori di resistenza a compressione semplice e a trazione "brasiliiana", misurati a 7 giorni di maturazione e su provini confezionati in fustella CBR. Pertanto, presso il laboratorio, completato lo studio degli aggregati descritto al capitolo precedente, è stata eseguita l'ulteriore caratterizzazione dei conglomerati idraulici confezionati con Granella® e cemento, al fine di valutarne l'utilizzo per la formazione della fondazione stradale. La percentuale di legante della miscela per lo strato di fondazione è generalmente compresa fra il 3% e il 5%, pertanto la confezione dei provini da sottoporre a compressione e trazione indiretta è avvenuta con dosaggi di 3, 4 e 5%. Quale legante è stato utilizzato del normale cemento Portland CEM 32,5 (UNI 191-1).

3.1 – Miscela Granella® 0-4 e cemento

Le verifiche granulometriche sono state condotte sulla Granella 0-4 tal quale e sulla miscela Granella 0-4 e cemento contenente il 5% di legante, corrispondente al suo massimo dosaggio. Dalla Tabella 9 e dal Grafico 3, si evince che l'aggiunta del 5% di cemento alla Granella 0-4 conferisce un modesto incremento del passante ai setacci 2,0 e 0,063 mm.

Cemento %	2.0 mm	0.063 mm
0	54.8	3.2
5	55.9	4.7

Tabella 9 – Granella 0-4 e cemento: confronto analisi granulometriche

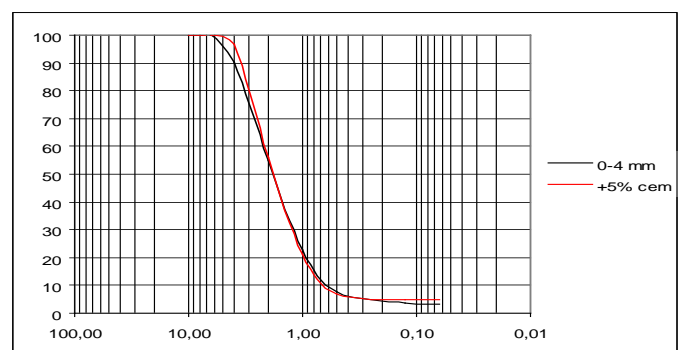


Grafico 3 - Granella 0-4 e cemento: confronto analisi granulometriche

Dalla Tabella 10 e dal Grafico 4 di seguito riportati, è osservabile un miglioramento delle resistenze meccaniche all'aumentare del dosaggio in cemento.

Cemento %	Rcs N/mm ²	Rti N/mm ²
3.0	1.61	0.21
4.0	2.55	0.36
5.0	2.56	0.55

Tabella 10 – Granella 0-4 e cemento: compressione e trazione indiretta²

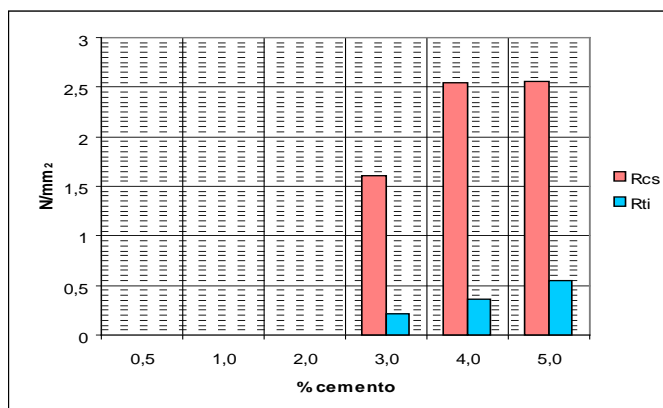


Grafico 4 – Granella 0-4 e cemento: compressione e trazione indiretta

3.2 – Miscela Granella® 0-8 e cemento

I risultati delle verifiche granulometriche condotte sulla Granella 0-8 tal quale e sulla miscela Granella 0-8-cemento contenente il 5% di legante, sono riportati nella Tabella 11 e nel Grafico 5, dove è osservabile che l'incremento del 5% del passante al setaccio 0,063 corrisponde al cemento aggiunto.

Cemento %	2.0 mm	0.063 mm
0	25.7	1.6
5	24.5	5.7

Tabella 11 – Granella 0-8 e cemento: confronto analisi granulometriche

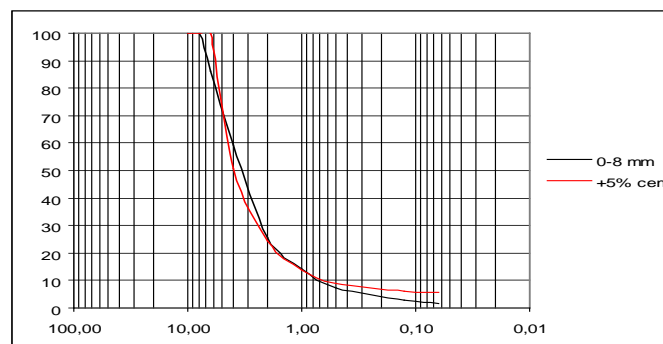


Grafico 5 - Granella 0-8 e cemento: confronto analisi granulometriche

L'osservazione dei valori medi riportati nella Tabella 12 e nel Grafico 6, consente di affermare che l'incremento delle resistenze, sia a compressione semplice che a trazione indiretta, avviene in modo regolare all'aumentare del dosaggio in legante.

Cemento %	Rcs N/mm ²	Rti N/mm ²
3.0	2.05	0.14
4.0	2.60	0.31
5.0	3.20	0.37

Tabella 12 – Granella 0-8 e cemento: compressione e trazione indiretta

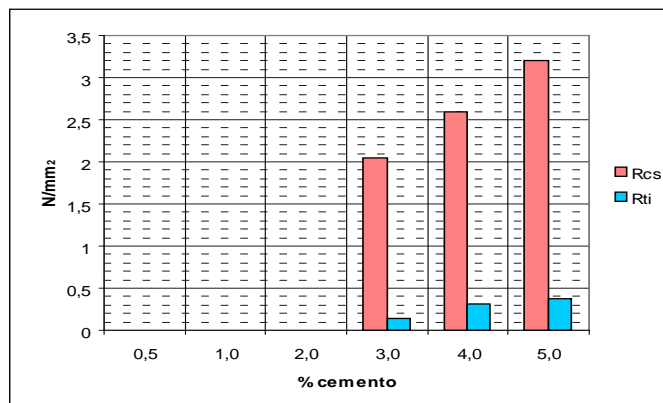


Grafico 6 – Granella 0-8 e cemento: compressione e trazione indiretta

² Rcs (N/mm²) = resistenza a compressione semplice in N/mm²; Rti (N/mm²) = resistenza a trazione indiretta in N/mm².

4 – VARIAZIONE VOLUMETRICA

La determinazione della variazione potenziale di volume delle Granella 0-4 e 0-8, è avvenuta secondo la norma ASTM D 4792-95. Questo metodo di misura tratta la determinazione della potenziale espansione volumetrica di diverse categorie di aggregati compattati seguendo le procedure generali descritte nelle normative UNI EN 13286-2 e UNI EN 13286-47, che contengono componenti suscettibili di idratazione, come calce libera e ossidi di magnesio. I materiali e le miscele per la prova d'espansione, ovvero con dosaggio variabile in cemento, sono indicate nella Tabella 13.

Materiale – Miscela	Dosaggio Cemento %		
Granella 0-4	0	1%	5%
Granella 0-8	0	1%	5%

Tabella 13 – Rigonfiamento: materiali e miscele di studio

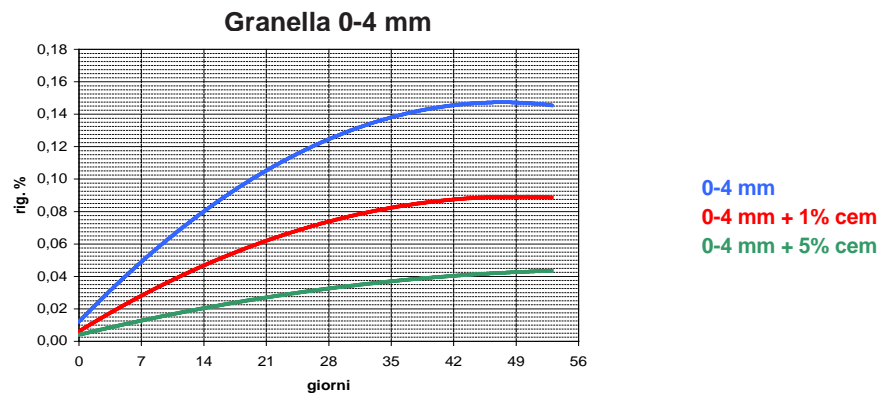


Grafico 7 – Granella 0-4: variazione volumetrica

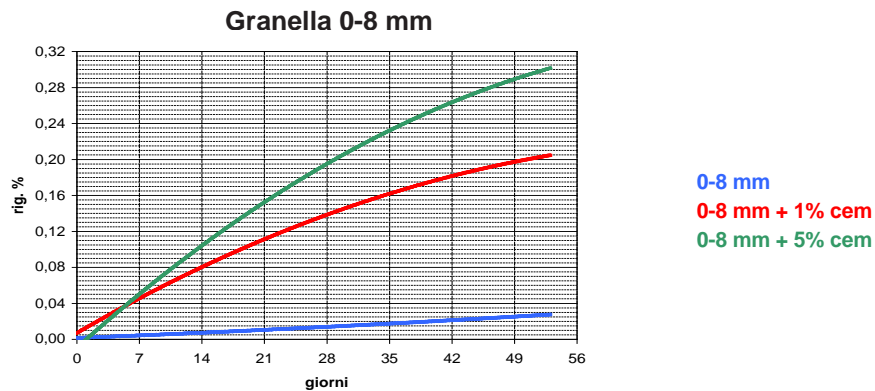


Grafico 8 – Granella 0-8: variazione volumetrica

Come si può osservare nei Grafici 7 e 8, relativi alle Granella 0-4 e 0-8 e loro miscele con 1 e 5% di cemento, il rigonfiamento varia, dopo immersione completa delle fustelle in acqua alla temperatura controllata di 70 ± 3 °C e fino a stabilizzazione, da un minimo dello 0,04% (5% di cemento) ad un massimo dello 0,15% (1% di cemento) per la Granella 0-4, da quasi nullo (legante 1%) a un massimo di 0,32% (5%) per quella 0-8. Tutti questi rigonfiamenti sono trascurabili e di molto inferiori al limite massimo generalmente consentito del 2%, pertanto essi sono accettabili per qualsiasi utilizzo in ambito stradale.

5 – QUALIFICA DELLA GRANELLA® PER IL CORPO STRADALE

Le norme armonizzate emanate a livello europeo contengono le caratteristiche del prodotto che devono essere certificate al fine della sua messa in commercio. Le norme armonizzate sono dunque norme di prodotto, ma nulla hanno a che fare con l'accettazione del prodotto stesso nei lavori e nelle opere cui i prodotti sono destinati. Tale accettazione dipende infatti dalla legislazione nazionale che deve emanare delle norme tecniche di impiego dei prodotti, in cui sono definite le specifiche che i prodotti devono possedere al fine di essere impiegati nelle opere.

Per quel che concerne in particolare la Granella®, i valori limiti e le categorie relative alle caratteristiche cui i prodotti appartengono, sono definite nella norma armonizzata UNI EN 13242. Questa è la norma che fornisce le linee guida per la marcatura CE degli aggregati per usi stradali, senza dire nulla a proposito degli usi degli aggregati e delle miscele cui essi sono destinati.

I criteri di accettazione degli aggregati per usi stradali sono stati stabiliti con l'emanazione della norma UNI 11531-1 dell'aprile 2014. Tale "norma contiene istruzioni per l'applicazione in Italia delle norme UNI EN ISO 15688, fornendo anche una classificazione delle terre, e precisa i limiti e i criteri di impiego nelle opere civili delle infrastrut-

ture degli aggregati e delle miscele non legate di cui alle UNI EN 13242, UNI EN 13285". Nella norma UNI 11531-1 è specificato che essa "costituisce utile riferimento per la redazione dei capitolati e le contrattazioni (rapporti tra committente, cliente e fornitore), e non ha come scopo la marcatura CE dei materiali per l'impiego nelle strade". Pertanto, la norma "indica i valori di riferimento per le caratteristiche tecniche in relazione a ciascuna destinazione d'uso". In conclusione, non sono più necessarie nuove specifiche tecniche in quanto basta utilizzare la nuova norma UNI 11531-1. Infatti, il progettista ha ora un riferimento ponderato e aggiornato al corrente stato dell'arte per comporre le voci del capitolato e per stabilire i requisiti cui i materiali e le opere debbono corrispondere. Infine, per la norma UNI 11531-1 la conformità degli aggregati è indipendente dalla provenienza, ovvero le tre categorie naturale, artificiale e riciclato sono considerate alla stessa stregua.

5.1 – Limiti di accettazione per la formazione dei rilevati

Nella UNI 11531-1 il rilevato è costituito dal corpo del rilevato e dal sottofondo.

5.1.1 – Requisiti d'idoneità dei materiali per il corpo dei rilevati

Secondo la UNI 11531-1, "nella formazione del corpo dei rilevati possono essere utilizzati, in ordine di priorità, le terre dei gruppi A1, A3 se necessario confinate, A2-4, A2-5 e A4 con indice di gruppo 0, nonché, limitatamente alla parte bassa del rilevato, a distanza di almeno 2 m dal piano di posa della sovrastruttura stradale, le terre dei gruppi A2-6, A-7 con indice di gruppo 0, previa predisposizione, al di sotto, di uno strato anticapillare di spessore non minore del 30 cm".

5.1.2 – Requisiti d'idoneità dei materiali per il sottofondo

La norma UNI 11531-1 prevede che "il sottofondo può essere costituito, in ordine di priorità, con le terre dei gruppi A1, A2-4 e A2-5, A3 con coefficiente di uniformità (D_{60}/D_{10}) maggiore di 7, purché:

- non vi siano granuli di dimensioni > 63 mm;
- il passante a 0,063 mm sia $\leq 15\%$;
- l'indice di plasticità sia ≤ 6 , meglio se N.P.;
- il passante al setaccio da 16 mm sia almeno del 50%."

5.2 – Requisiti d'idoneità dei materiali per la fondazione

In Italia i principali Capitolati Speciali di Appalto prevedono che lo strato di fondazione, costituito da un misto granulare impastato con differenti tenori di cemento e acqua, possieda le seguenti caratteristiche prestazionali:

- una resistenza a compressione semplice a 7 giorni non minore di 2,5 N/mm² e non superiore a 4,5 N/mm²;
- una resistenza a trazione indiretta "brasiliiana" non inferiore a 0,25 N/mm².

5.3 – Accettazione della Granella® per i rilevati

Dalle caratteristiche geotecniche della Granella 0-4 e di quella 0-8 emerse dallo studio eseguito e illustrato nei precedenti Capitoli 2 e 3, nonché dai requisiti d'idoneità dei materiali richiesti per la formazione dei rilevati dalla normativa UNI 11531-1, è possibile affermare quanto segue:

- **corpo del rilevato:** gli aggregati siderurgici considerati sono idonei alla formazione del corpo del rilevato in quanto appartenenti al gruppo A1 della classificazione UNI 11531-1;
- **sottofondo:** i prodotti analizzati, classificati come A1, possedendo granuli di dimensioni inferiori a 63 mm, passante a 0,063 inferiore a 15% e a 16 mm superiore al 50% e assenza di plasticità, ed essendo inoltre caratterizzati da indice di portanza CBR superiore a 50 e rigonfiamento praticamente nullo, sono utilizzabili anche per la formazione del sottofondo del rilevato.

Pertanto, la Granella 0-4 e quella 0-8, soddisfacendo i requisiti d'idoneità per il rilevato stradale previsti dalla nuova norma UNI 11531-1, sono utilizzabili nella costruzione del corpo del rilevato e del sottofondo. Inoltre, la scelta delle Ferriere Nord di adottare nella qualifica dei prodotti un dosaggio in legante, al massimo 1%, consente di migliorare le caratteristiche del rilevato, dotandolo anche di una resistenza meccanica superiore a quella ottenuta utilizzando esclusivamente aggregati naturali.

5.4 – Accettazione della Granella® per la fondazione

Nello studio condotto sulla Granella 0-4 e su quella 0-8 e descritto nel Capitolo 3, il comportamento meccanico degli aggregati siderurgici trattati a cemento permette di affermare che già al dosaggio in legante pari al 4%, calcolato sul peso secco dell'aggregato, fornisce resistenze a compressione semplice comprese tra 2,5 N/mm² e 4,5 N/mm² e trazione indiretta "brasiliiana" superiori a 0,25 N/mm², ovvero in grado di fornire le resistenze meccaniche richieste dai capitolati.

6 – CONCLUSIONI

I risultati della ricerca condotta sulla Granella 0-4 e sulla Granella 0-8, confrontati con i requisiti d'accettazione di norme e capitolati in vigore, confermano la loro idoneità all'impiego in ambito stradale e come questi aggregati siderurgici siano un'ottima alternativa all'impiego dei materiali pregiati tradizionali, quali quelli naturali o riciclati, soprattutto nelle opere in cui ne sono richieste grandi quantità.





Ferriere Nord S.p.A.
Zona Industriale Rivoli - 33010 Osoppo (UD)
Tel: +39 0432 062811 - Fax: +39 0432 062822
pittinigroup@pittini.it - www.pittini.it