

Fondazione Geometri della Provincia Ferrara

corso di aggiornamento

GEOTECNICA STRADALE: PROVE SUI MATERIALI E CONTROLLI IN CORSO D'OPERA

Ferrara 09/11/2011

Relatore:

Dott. Geol. Antonio Mucchi

Le tecniche di progettazione e di costruzione che occorre mettere in atto per la progettazione di strade appartengono a molteplici settori disciplinari tra loro molto diversi quali:

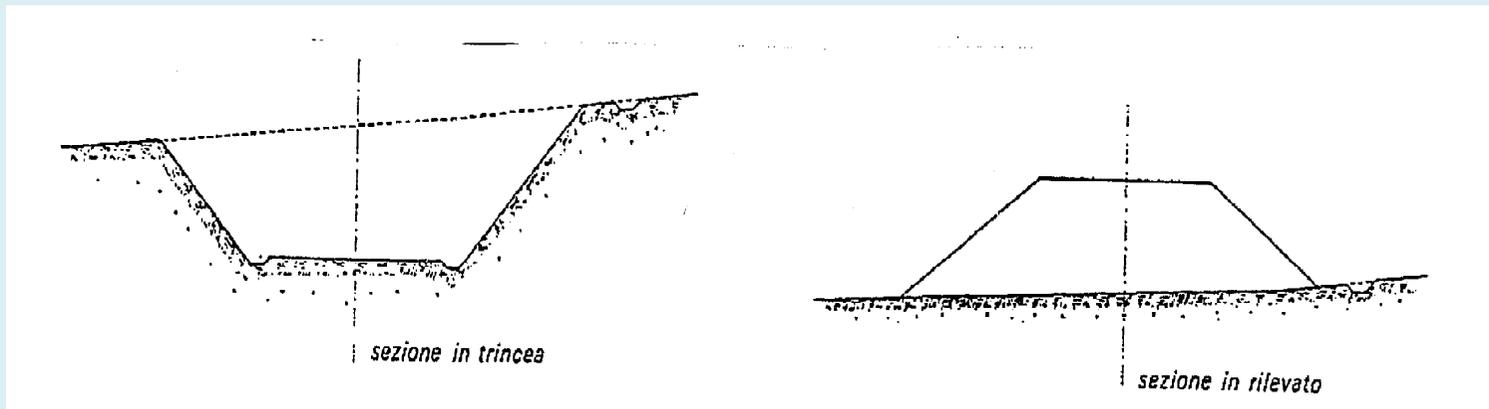
- L'ingegneria stradale, per la geometria della strada, le sovrastrutture, i dispositivi di sicurezza, la segnaletica;
- L'ingegneria strutturale, prevalentemente per opere d'arte di attraversamento, di sostegno e di rivestimento delle gallerie;
- L'ingegneria geotecnica, per il progetto geometrico delle opere fondali, di contenimento e per la stabilità del corpo stradale.

Per attuare correttamente e razionalmente tutte queste attività progettuali e costruttive è necessaria la conoscenza della natura e le caratteristiche geomeccaniche dei terreni interessati.

L'argomento che andremo a trattare riguarda l'ingegneria geotecnica.

COSTRUZIONE DEL CORPO STRADALE

Per costruzione del corpo stradale si intende il complesso delle operazioni necessarie alla realizzazione della strada in rilevato o in trincea e di tutte quelle opere o interventi destinati a garantirne nel tempo la stabilità e la sicurezza.



Queste operazioni si riferiscono :

- Al terreno di impianto (sottofondo)
- Ai rilevati
- Alle trincee
- Alle sovrastrutture (pavimentazioni)

TERRENO DI IMPIANTO DEL CORPO STRADALE (SOTTOFONDO)

Secondo la norma UNI 10006/02 il sottofondo può essere definito come il terreno che sostiene la sovrastruttura sul quale interviene direttamente l'azione dei carichi esterni da questa trasmessa.

La superficie superiore del terreno di sottofondo è il piano di posa della sovrastruttura (lo strato più superficiale del rilevato o del terreno in sito, se la strada è in trincea).

Quando non altrimenti specificato la definizione si riferisce ad uno spessore di terreno dell'ordine di (20 ÷ 50) cm.

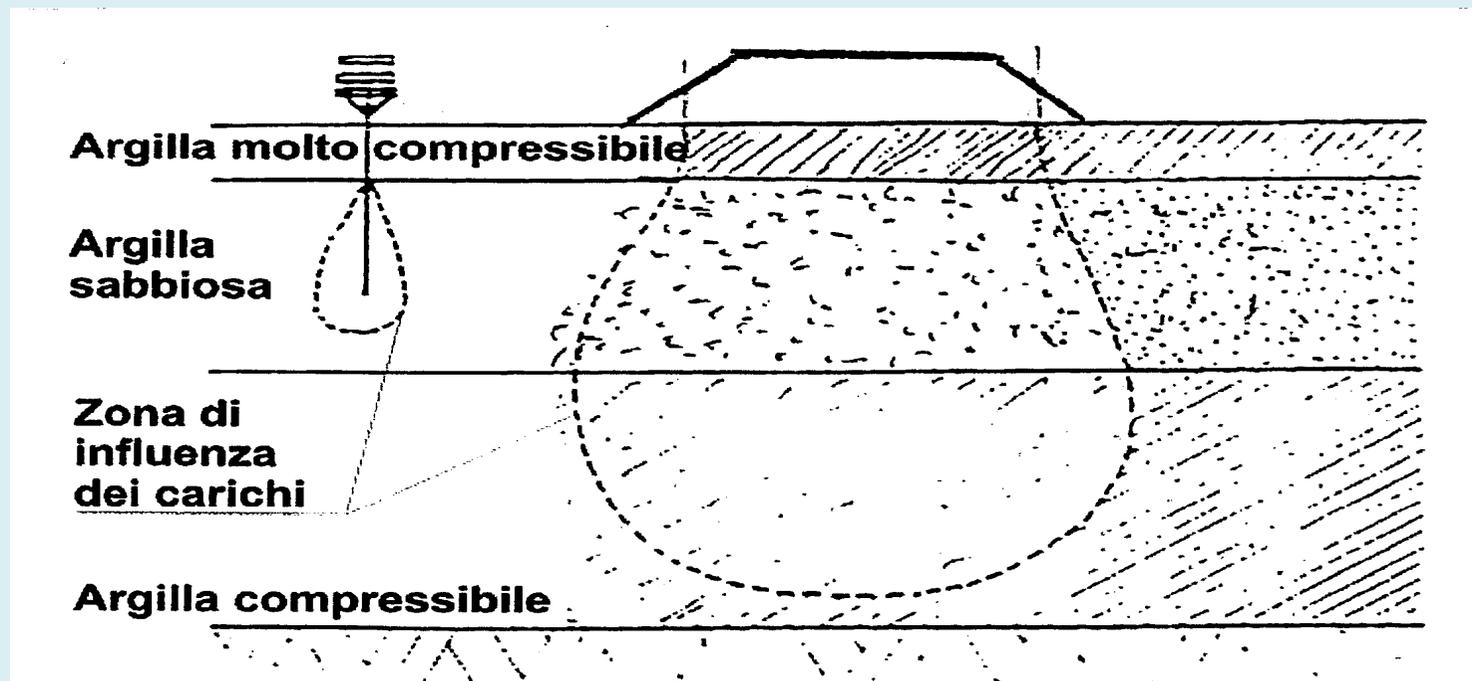
Le caratteristiche fondamentali che un sottofondo deve possedere sono:

- Elevata rigidezza (portanza), deve deformarsi poco sotto l'azione dei carichi
- conservazione nel tempo delle sue caratteristiche meccaniche , anche se la strada è temporaneamente soggetta all'azione dell'acqua e del gelo
- superficie superiore regolare

E' molto importante (fondamentale) evitare il ristagno delle acque superficiali e il drenaggio delle acque di falda prossime al piano campagna

Nella fase di progettazione occorre conoscere le caratteristiche litostratigrafiche, di resistenza e di deformabilità del terreno di impianto.

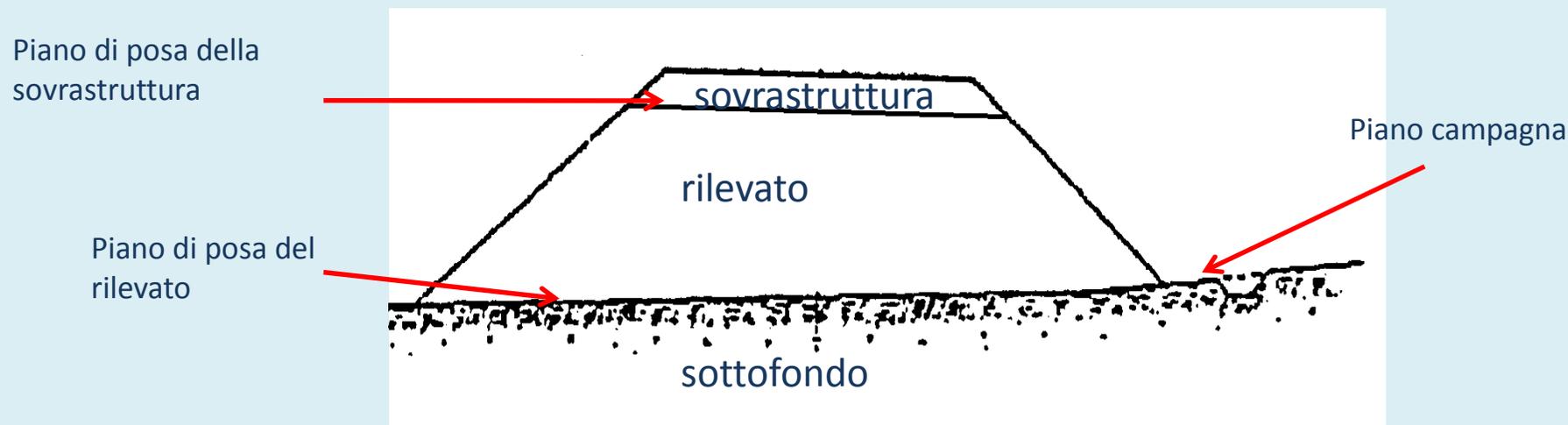
L'estensione delle indagini (geologiche e geotecniche) saranno commisurate alle caratteristiche geometriche dei rilevati e/o delle trincee e a quelle litostratigrafiche del sottosuolo.



RILEVATO

Il rilevato è l'insieme delle operazioni aventi il fine di costituire, con terreno di riporto, uno stabile piano di posa della pavimentazione ad una quota superiore almeno ad 1 metro rispetto a quella del piano di campagna.

Lo strato superiore di qualsiasi rilevato rappresenta il sottofondo della sovrastruttura; pertanto ad essi si applicano le norme relative ai sottofondi.



Prima di procedere alla costruzione di un rilevato è indispensabile assicurarsi:

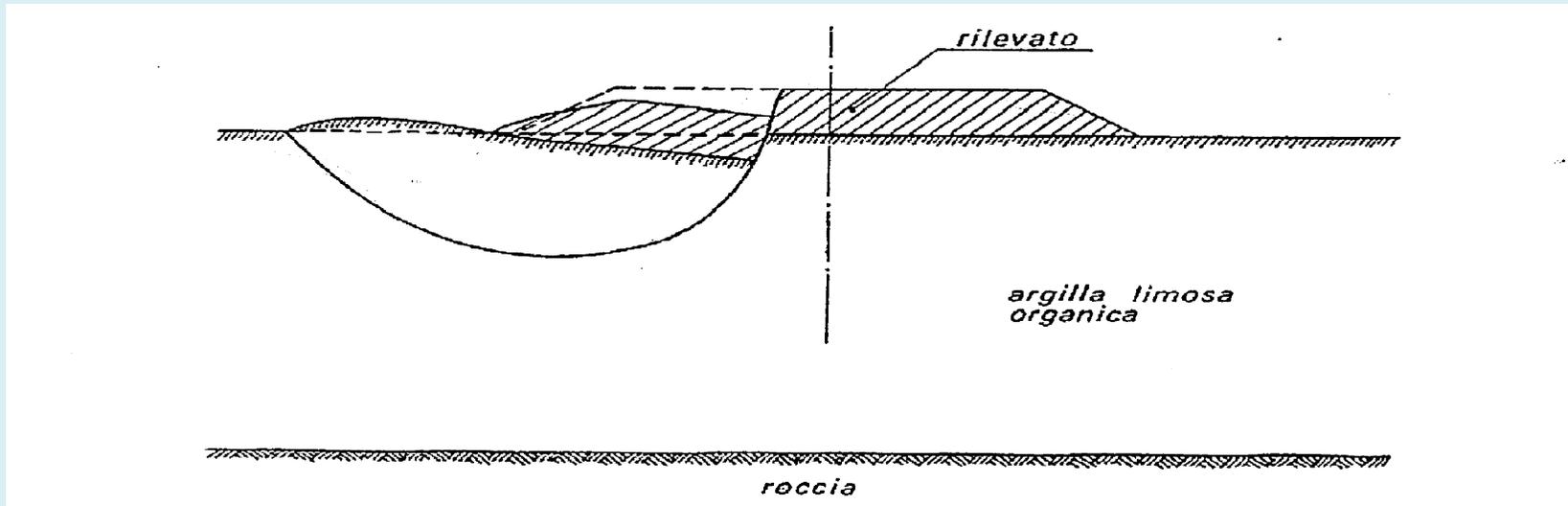
- che il terreno in sito sia idoneo a sopportare il peso del rilevato senza eccessivi cedimenti o rifluimenti (indagine geotecnica);
- che sia eliminato dal piano di campagna il terreno vegetale o il materiale organico in genere;
- che il piano di posa sia conformato a gradoni (meglio se in contropendenza), qualora la pendenza trasversale del terreno sia maggiore del 20%. (condizione difficilmente riscontrabile nel nostro territorio)
- idoneità dei materiali da utilizzare

Le cause di instabilità di un rilevato possono dipenderà da:

- Utilizzo di materiali non idonei
- Cattivo costipamento
- Eccessiva pendenza delle scarpate

} **rilevato**

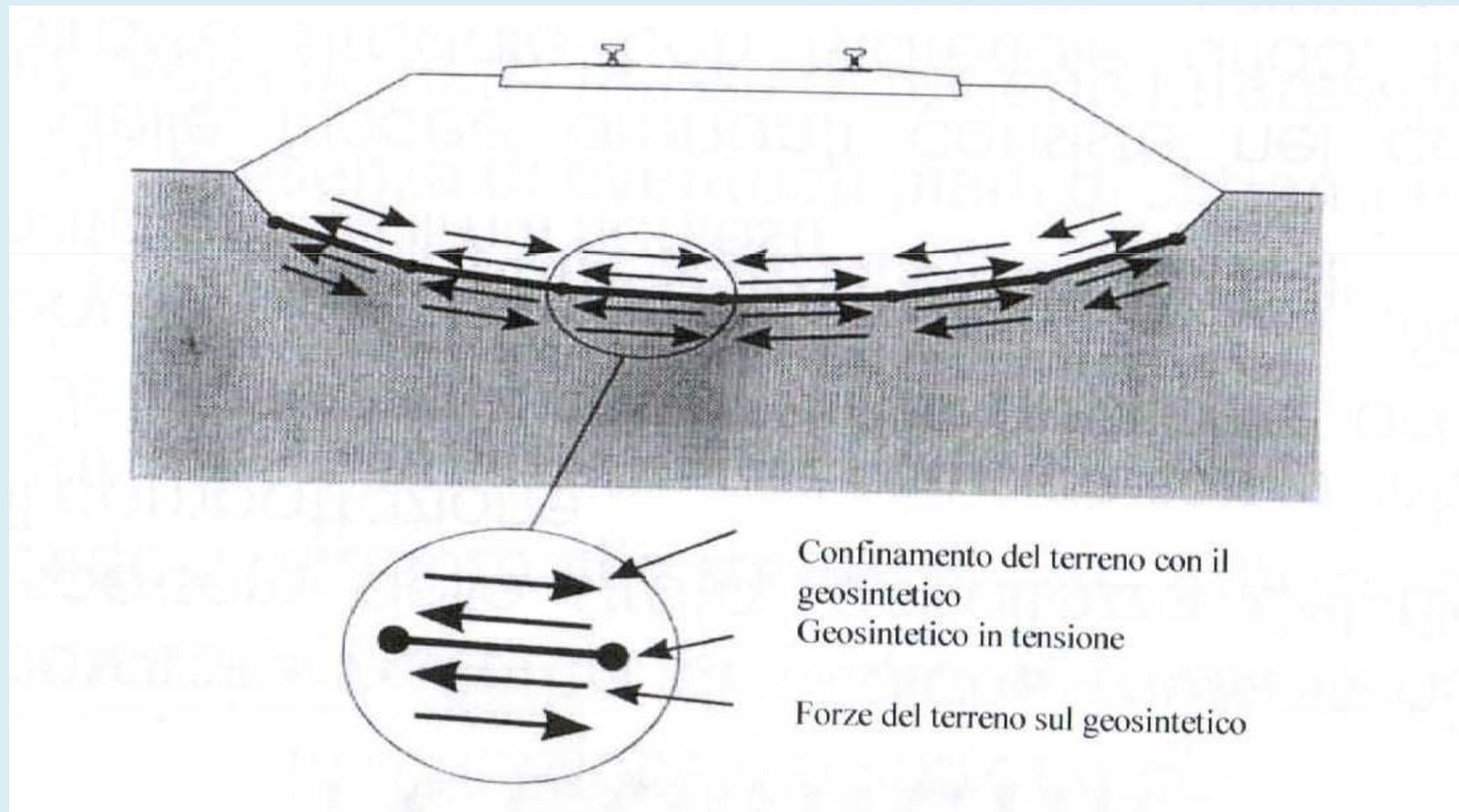
- **Terreni di sottofondo** compressibili che possono essere soggetti a rotture secondo superfici di scivolamento circolari che interessano il corpo del rilevato e il terreno di appoggio



I provvedimenti che possono essere adottati per evitare fenomeni di instabilità del rilevato e terreni sottostanti sono molteplici:

- costruzione di idonee banche laterali
- Utilizzo terre armate
- consolidazione tramite precarico del terreno di sedime con conseguente incremento della sua resistenza al taglio
- miglioramento delle caratteristiche di resistenza del terreno di appoggio tramite introduzione di materiale granulare arido o sostanze stabilizzanti
- dreni verticali
- interventi con jet-grouting,
- geosintetici

I geosintetici sono materiali con una notevole resistenza a trazione che vanno a migliorare le prestazioni di un mezzo (il terreno o l'opera in terra) dotato di sola resistenza al taglio.



LA TRINCEA

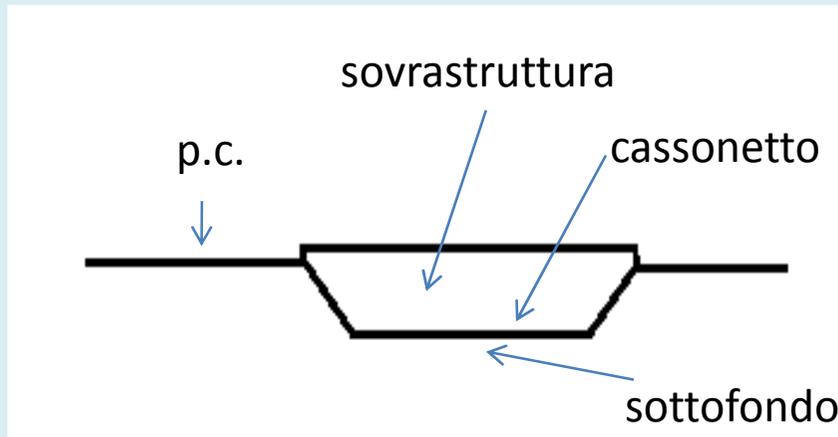
È l'insieme delle operazioni di scavo e di allontanamento del terreno in sito e di profilatura delle scarpate, al fine di costituire uno stabile piano di posa della sovrastruttura ad una quota inferiore a quella del piano di campagna.

Nel procedere allo scavo di una trincea è indispensabile indagare sulle condizioni idrologiche e idrogeologiche e sulla presenza di eventuali piani di scivolamento in atto o potenziali, interessanti il corpo stradale.

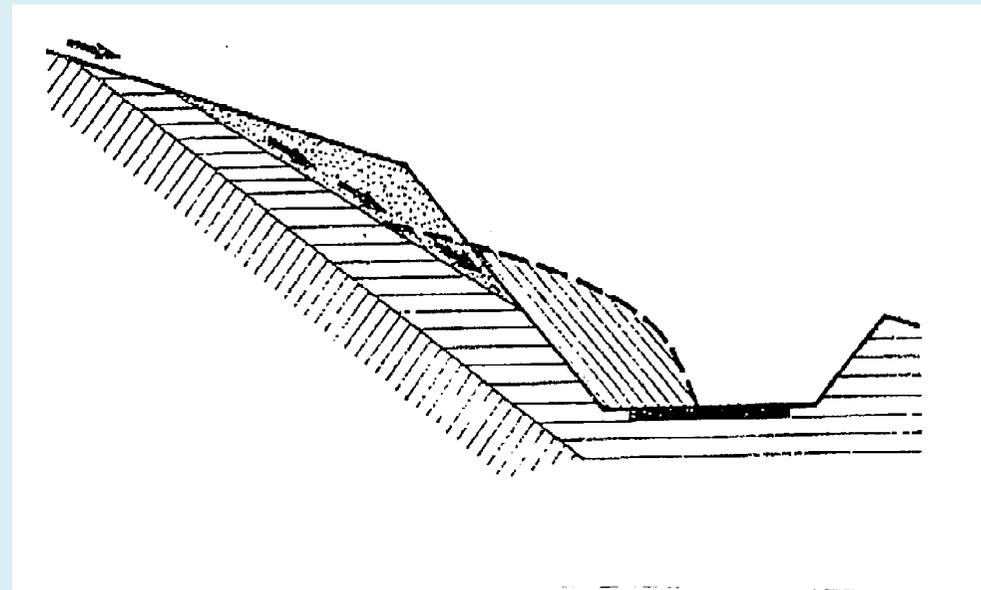
Il piano di formazione della trincea coincide con la superficie del sottofondo e come tale va considerato a tutti gli effetti (elevata rigidità, conservazione delle caratteristiche meccaniche nel tempo, ecc.)

Nella configurazione delle scarpate (nel caso di trincee profonde) occorre tener conto della natura del terreno e dell'altezza dello scavo; in particolare per terreni argillosi si deve adottare una scarpa sempre più elevata del consueto 1/1 (3/2 ÷ 5/1).

Sezione di una trincea superficiale



Sezione di una trincea profonda



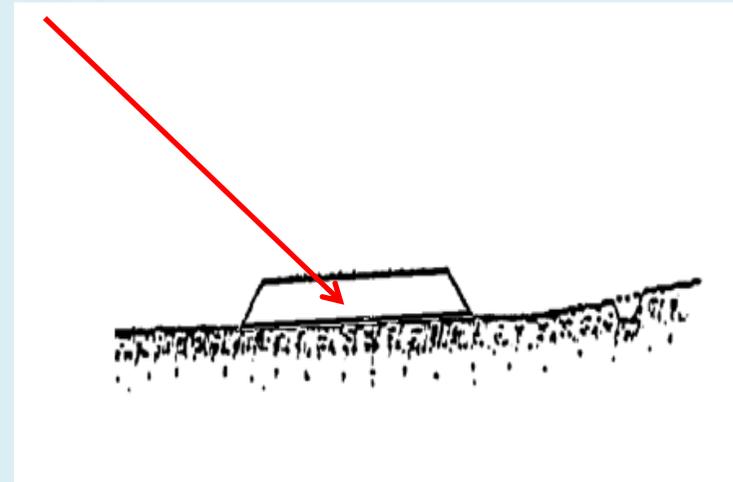
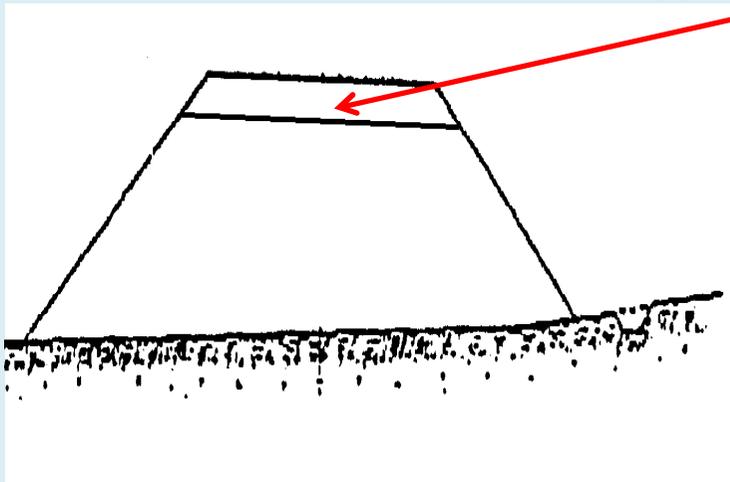
SOVRASTRUTTURA (PAVIMENTAZIONE)

La sovrastruttura è costituita da un insieme di strati che risentono in modo significativo delle sollecitazioni indotte dal traffico.

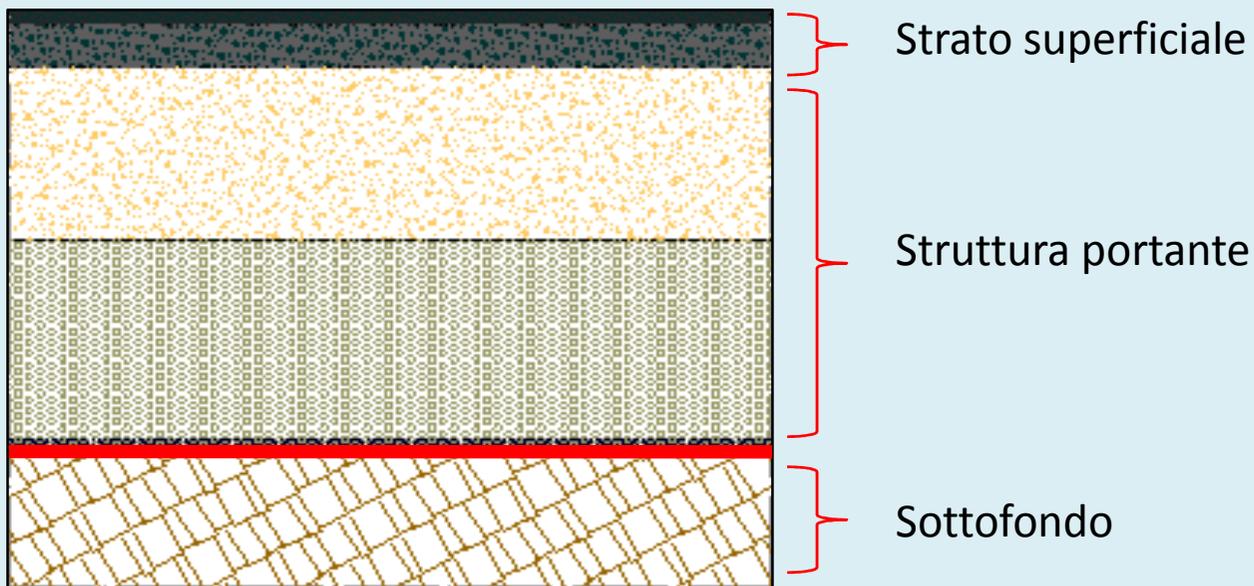
Essa ha tre compiti fondamentali:

- Garantire ai veicoli una superficie di rotolamento regolare e sicura.
- Ripartire sul terreno di appoggio (sottofondo) le azioni dei veicoli in maniera tale da non indurre deformazioni sul piano viabile .
- Proteggere il terreno sottostante dagli agenti atmosferici.

sovrastruttura



Sotto l'aspetto funzionale **LA SOVRASTRUTTURA** è costituita da uno strato superficiale e da una struttura portante. **Lo strato superficiale**, composto da conglomerato bituminoso (**binder + usura**) è quello direttamente esposto alle azioni del traffico e degli agenti atmosferici, mentre **la struttura portante** (fondazione) ha l'esclusiva funzione di mantenere inalterata la configurazione del soprastante manto e di sopportare e distribuire sul sottofondo le sollecitazioni dovute al traffico; può essere costituita da uno o più strati.



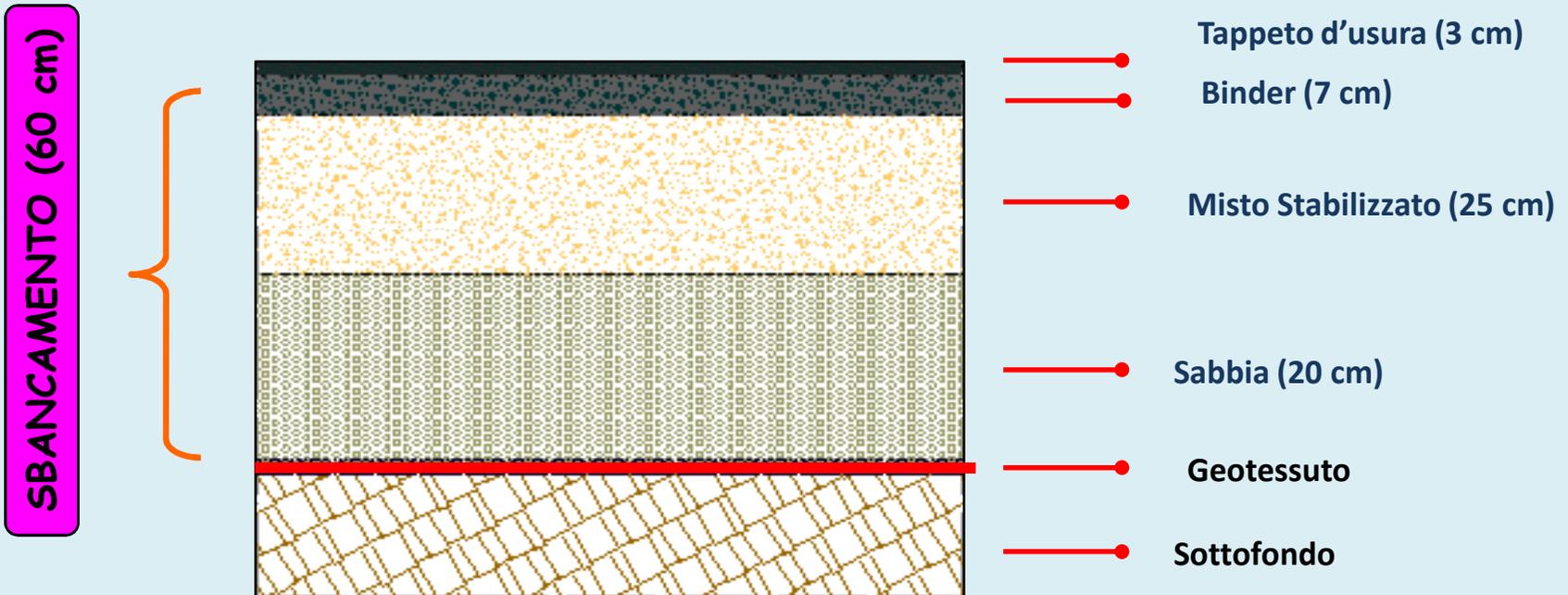
In linea generale si possono distinguere tre tipologie di sovrastrutture:

➤ **Sovrastruttura flessibile:** costituita da aggregati lapidei che nella parte superiore sono legati a bitume.

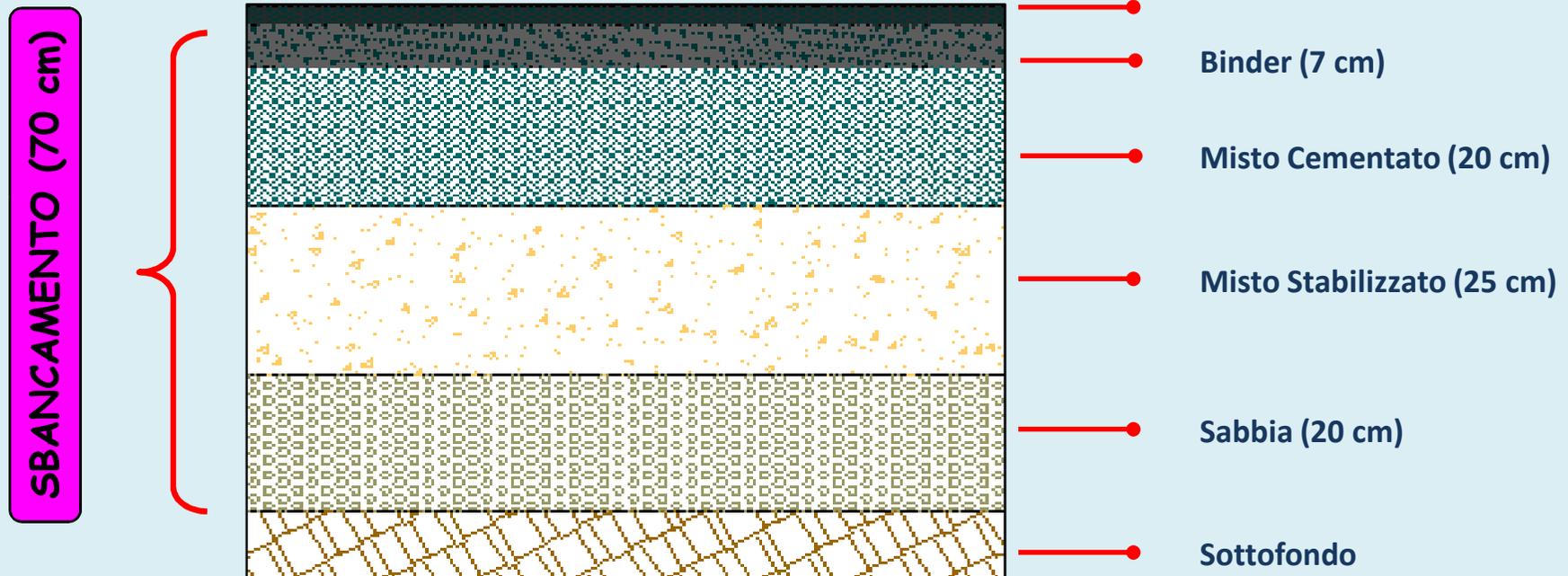
➤ **Sovrastruttura rigida:** formata da uno strato superficiale costituito da una lastra in calcestruzzo, armata o no, caratterizzata da un elevato modulo di rigidità e da uno o più strati di fondazione; non è indicata per terreni di sottofondo compressibili come quelli presenti nel nostro territorio.

➤ **Sovrastruttura semirigida:** in questo caso si interpone uno strato di materiali trattati con cemento (misto cementato) tra lo strato superficiale bitumato (binder) e la fondazione, con lo scopo di diminuire notevolmente la deformabilità della pavimentazione.

Sovrastruttura flessibile



Sovrastruttura semirigida



Ogni sovrastruttura soggetta a un determinato volume di traffico è caratterizzata da un parametro denominato **“vita utile”** che corrisponde a quel periodo di tempo al di là del quale la degradazione strutturale da essa subita ne rende necessario l’integrale rifacimento.

Ogni sovrastruttura viene progettata in rapporto alla **“vita utile”** loro richiesta e **alla capacità portante del terreno** su cui essa direttamente poggia , cioè del sottofondo.

La parte superiore della sovrastruttura stradale (strato superficiale) in genere è costituita da un doppio strato di conglomerato bituminoso steso a caldo :

- **Strato inferiore di collegamento (binder)**
- **Strato superiore di usura.**

Entrambi gli strati devono possedere una elevata resistenza meccanica e una elevata resistenza a fatica.

REQUISITI DEL SOTTOFONDO

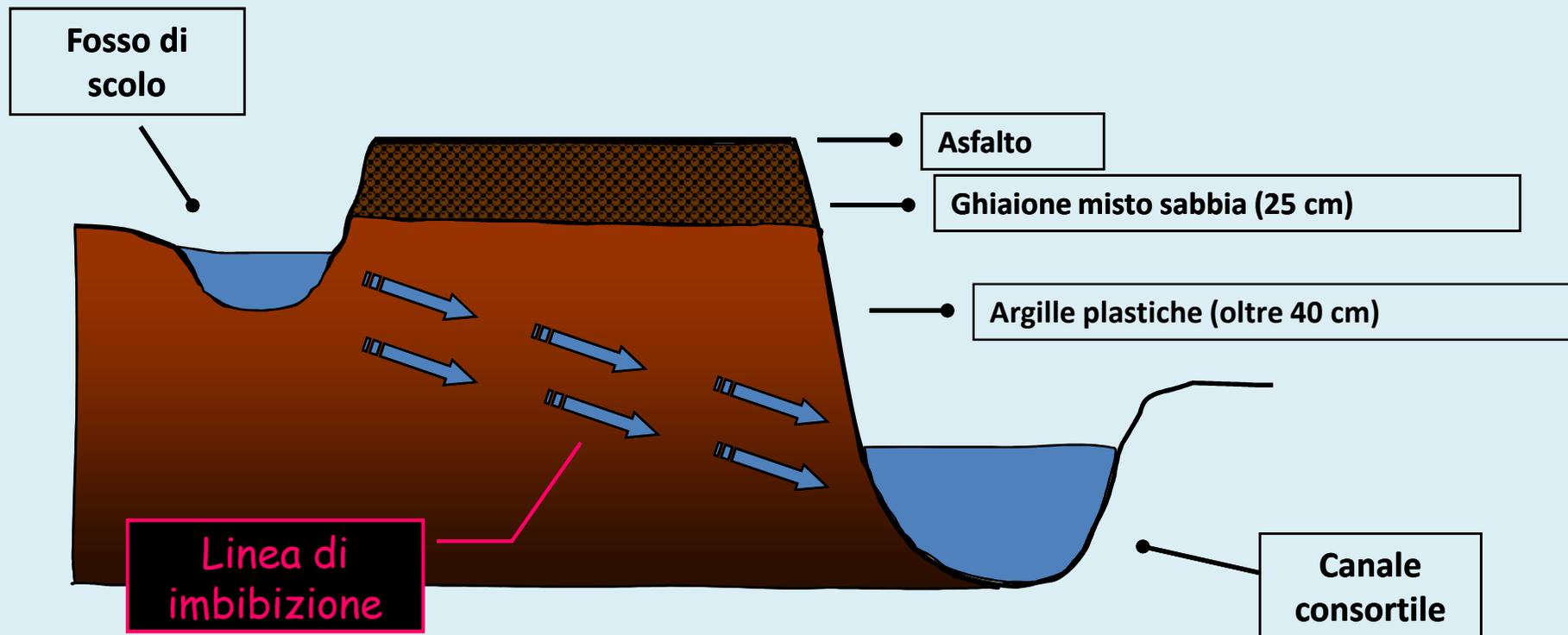
Il sottofondo stradale deve garantire portanza sufficientemente elevata, durevole e uniforme.

Per garantire tali requisiti occorre eseguire le seguenti operazioni:

- Drenaggi delle acque
- Sostituzione o correzione per una certa profondità del terreno in sito quando risulta non idoneo
- Costipamento

Stato di fatto

Situazione problematica che necessitava di intervento
causa dissesto e avvallamento del rilevato stradale



Per impedire ristagni d'acqua

Posa in opera di dreni suborizzontali

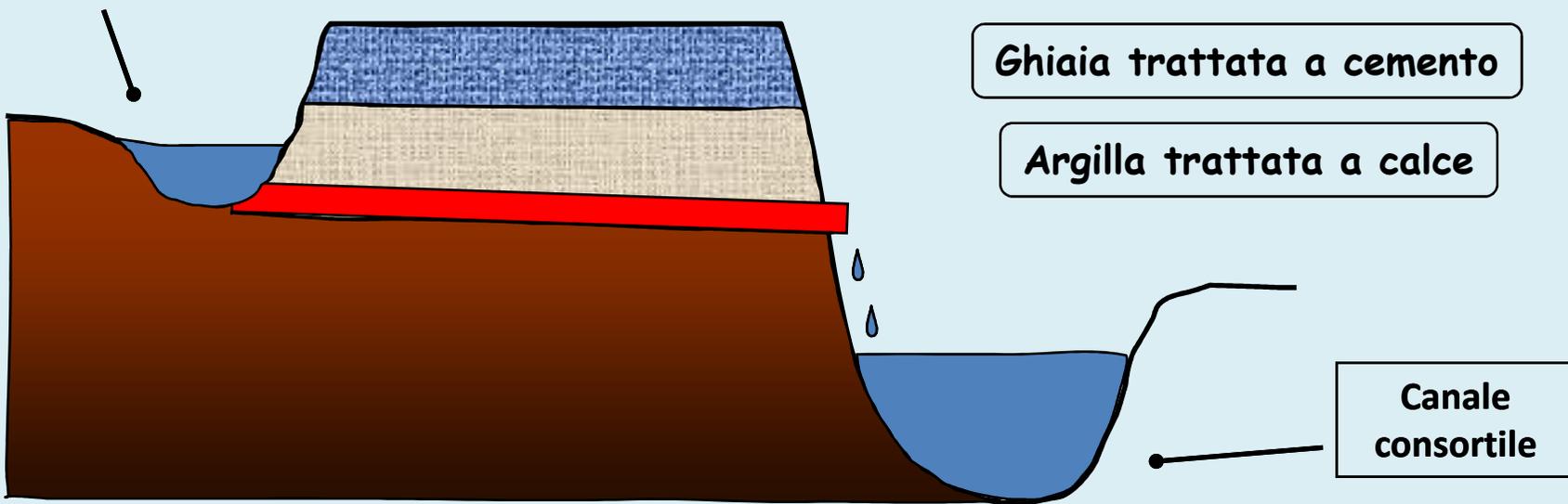
Per impedire infiltrazioni nel sottofondo

Ulteriore miglioramento delle caratteristiche geomeccaniche del sottofondo

Fosso di scolo

Ghiaia trattata a cemento

Argilla trattata a calce



Canale consortile

Quando a 20 cm sotto il p.c. si rinvencono terreni appartenenti ai gruppi A1,A2,A3 (Classifica UNI 10006/2002) , anche se soggetti all'azione dell'acqua o del gelo, la preparazione consisterà in una compattazione dello strato sottostante per almeno 30 cm fino a raggiungere una densità secca pari al 95% di quella ottimale determinata con la prova Proctor AASHO Modificata.

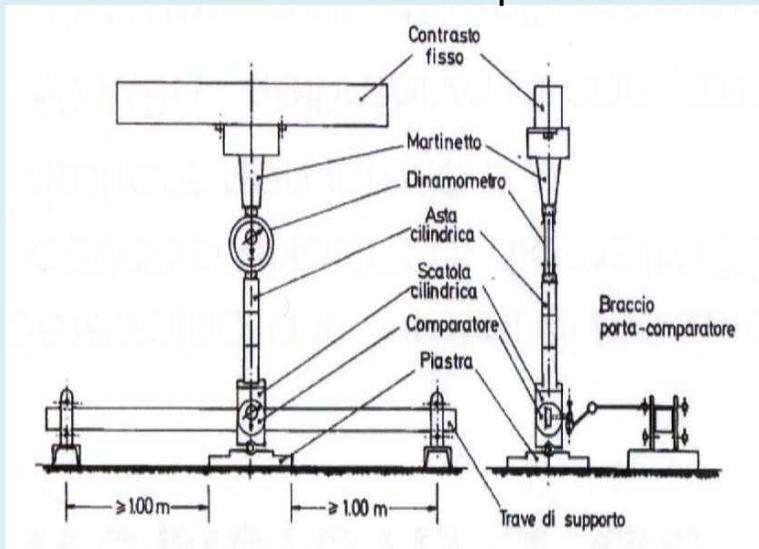
Quando invece a 20 cm sotto il p.c. si rinvencono terreni appartenenti ai gruppi A4,A5,A6,A7,A8 dovranno essere asportati per uno spessore di almeno 30 cm e sostituiti con materiali appartenenti ai gruppi A1 ,A3 e A2-4 non plastici: operazione necessaria soprattutto quando il terreno è suscettibile all'azione dell'acqua o gelo. Il materiale di riporto dovrà essere adeguatamente compattato fino a raggiungere una densità secca pari al 95% di quella ottimale determinata con la prova Proctor AASHO Modificata.

In alternativa all'asportazione del terreno non idoneo è possibile eseguire un trattamento a calce e/o cemento che permette un notevole aumento della portanza del sottofondo (operazione di grande rilevanza ambientale ed economica). ***Vedi atti convegno "Stabilizzazione delle terre con calce" presenti sul sito www.mucchilab.it***

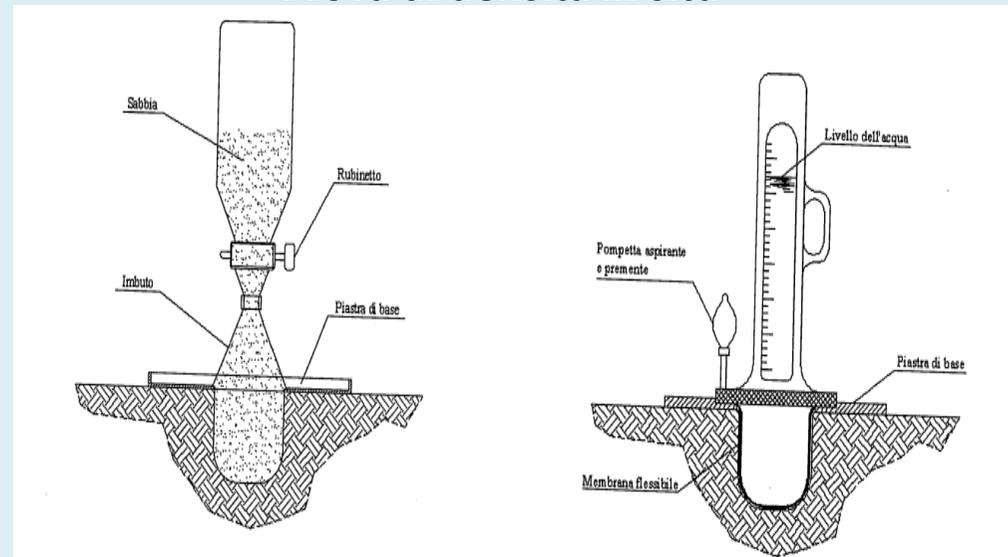
Dopo il costipamento , prima della realizzazione della sovrastruttura, si dovrà verificare il raggiungimento del 95% del **grado di compattazione** con prova di densità in sito e **il modulo di deformazione Md** , con prova di carico su piastra , che fornisce una misura convenzionale della capacità portante.

Il controllo della densità in sito è previsto (dalla norma UNI 10006/02) solo per materiali costituiti da elementi con dimensioni minori di 20 mm

Prova di carico su piastra

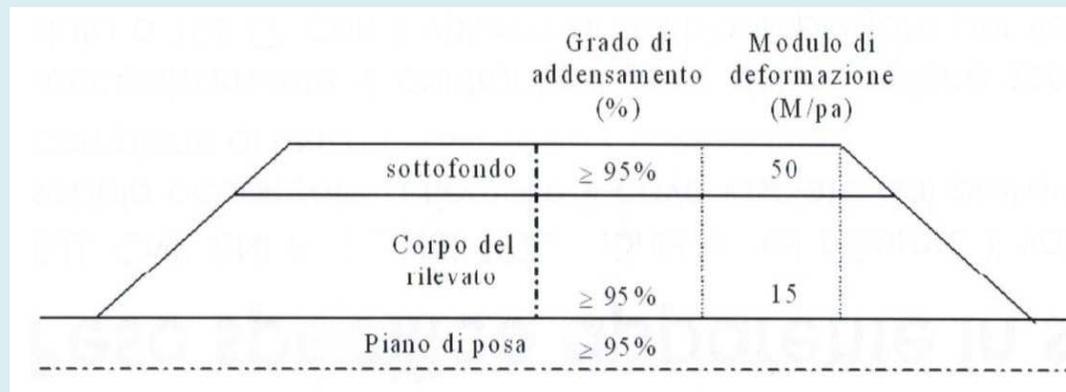


Prova di densità in situ



Di norma **Il modulo di deformazione Md** , salvo diverse prescrizioni di progetto, dovrà risultare non inferiore a :

- **50 MPa** nell'intervallo di carico compreso tra 0.15-0.25 N/mm² per il piano di posa della sovrastruttura
- **30 MPa** nell'intervallo di carico compreso tra 0.05-0.15 N/mm² quando la distanza del piano di posa del rilevato rispetto al piano di appoggio della pavimentazione è compreso tra 0.5 e 1.00 m.
- **20 MPa** nell'intervallo di carico compreso tra 0.05-0.15 N/mm² quando la distanza del piano di posa del rilevato rispetto al piano di appoggio della pavimentazione è compreso tra 1.00 e 2.00 m.
- **15 MPa** nell'intervallo di carico compreso tra 0.05-0.15 N/mm² quando la distanza del piano di posa del rilevato rispetto al piano di appoggio della pavimentazione è > di 2.00 m.



REQUISITI DEL RILEVATO

Prima di procedere alla costruzione di un rilevato è indispensabile assicurarsi:

- che il terreno in sito sia idoneo a sopportare il peso del rilevato senza eccessivi cedimenti o rifluimenti ;
- che sia eliminato dal piano di campagna il terreno vegetale o il materiale organico in genere;
- che la natura dei materiali da utilizzare sia idonea

Il rilevato deve essere realizzato con terreni incoerenti appartenenti ai gruppi A1, A2, A3, A4 (non plastici) della Classifica Uni 10006/02. In alternativa potranno essere utilizzate terreni coesivi del tipo A4, A5, A6, A7 trattati a calce e/o a cemento. L'utilizzo di terreni coesivi trattati a calce è la soluzione maggiormente utilizzata anche a causa della difficoltà di reperire materiale di cava.

I terreni andranno stesi e compattati per strati dallo spessore di 30 cm (nel caso si utilizzino ghiaie del tipo A1 lo spessore degli strati potrà essere di 50 cm) , in modo da raggiungere un grado di addensamento pari ad almeno il 95% della densità secca calcolata preventivamente con prova Proctor AASHO modificata.

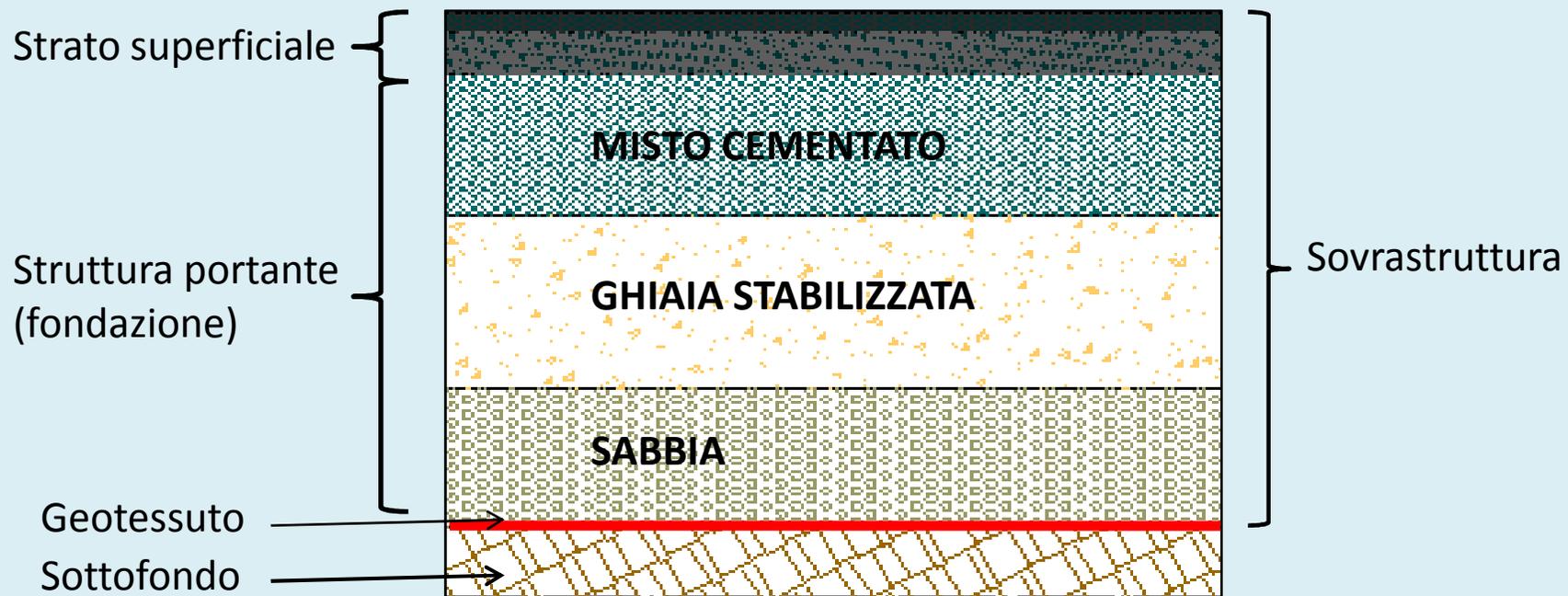
Dopo il costipamento , prima della posa dello strato successivo dovranno essere eseguiti controlli per verificare il raggiungimento del 95% del **grado di compattazione** con prove di densità in sito e **il modulo di deformazione Md** con prove di carico su piastra .

Il modulo di deformazione Md dovrà essere di almeno **20 MPa** nella parte bassa del rilevato , con valore crescente fino al raggiungimento di **50 MPa** nel piano di posa della fondazione.

L'intero corpo del rilevato deve in ogni caso essere protetto , sulle scarpate e sulle banchine non carreggiabili, dall'azione diretta degli agenti atmosferici mediante inerbimento e se necessario con l'apporto di terreno vegetale.

REQUISITI DELLA STRUTTURA PORTANTE (SOVRASTRUTTURA)

La struttura portante (fondazione) ha l'esclusiva funzione di mantenere inalterata la configurazione del soprastante manto di conglomerato bituminoso (strato superficiale) e di sopportare e distribuire sul sottofondo le sollecitazioni dovute al traffico; può essere costituita da uno o più strati composti da sabbie e ghiaie stabilizzate o ghiaie trattate a cemento.



Requisiti strato in sabbia

- Le sabbie dovranno essere appartenenti ai **gruppi A3 o A2-4** prive di plasticità, stese e costipate per strati < di 30 cm .
- Dopo il costipamento , prima della posa dello strato in ghiaia soprastante dovranno essere eseguiti controlli per verificare il raggiungimento del 95% del **grado di compattazione** con prove di densità in sito e **il modulo di deformazione Md** (con prove di carico su piastra)che dovrà essere di 50 MPa calcolato nell'intervallo di carico nell'intervallo di carico compreso tra 0.15-0.25 N/mm².

Requisiti strato in ghiaia stabilizzata

Sarà costituito da materiali appartenenti al **gruppo A1a** stabilizzati per granulometria di cui è consigliabile che almeno il 50% in peso sia composto da elementi frantumati a spigoli vivi e dovrà avere le seguenti caratteristiche :

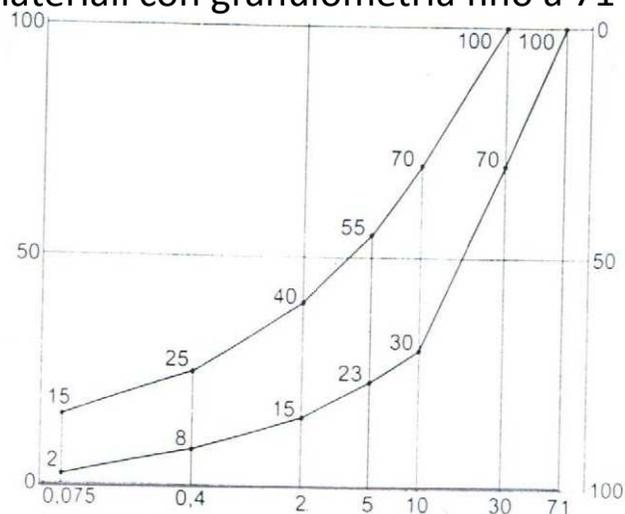
1. l'aggregato non deve avere dimensioni superiori a 71 mm, ne forma appiattita, allungata o lenticolare.
2. Granulometria compresa nel fuso di riferimento UNI 10006/02
3. Indice plastico < 6
4. Perdita in peso alla prova di frammentazione Los Angeles < del 30%
5. Equivalente in sabbia compreso fra 25 e 65
6. Indice di portanza CBR dopo 4 giorni di saturazione > di 50
7. Resistenza al gelo-disgelo < di 1 (prova da eseguirsi in aree molto gelive)

Crivello o staccio UNI	Percentuale in peso passante	
	Tipo A	Tipo B
Crivello UNI 2334.....	71	100
	30	70 ÷ 100
	15	-
	10	30 ÷ 70
	5	23 ÷ 55
Staccio UNI 2332.....	2	15 ÷ 40
	0,4	8 ÷ 25
	0,075	2 ÷ 15
Rapporto fra passante allo staccio 0,075 UNI 2332 e passante allo staccio 0,4 UNI 2332.....	<2/3	<2/3

Fuso di riferimento UNI 10006/02

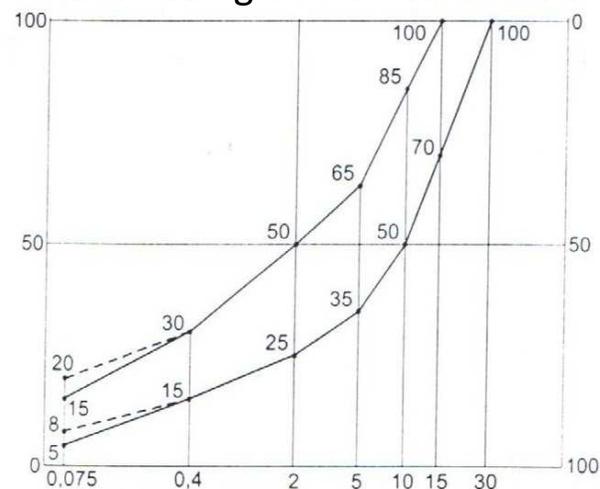
Fuso Tipo A

Per materiali con granulometria fino a 71 mm



Fuso Tipo B

Per materiali con granulometria fino a 30 mm



Dopo il costipamento , prima della posa dello strato di misto cementato dovranno essere eseguiti controlli per verificare **il modulo di deformazione M_d** (con prove di carico su piastra) che dovrà essere di almeno 80 MPa calcolato nell'intervallo di carico compreso tra 0.15-0.25 N/mm².

Come già accennato precedentemente, quando l'aggregato ha dimensioni > di 20 mm, la norma UNI 10006/02 non prevede il controllo della densità in sito a causa della difficoltà di eseguire la prova con sufficiente precisione dovuta alle dimensioni grossolane dell'inerte.

In alternativa si possono fare **prove di carico con piastra dinamica**, che ha il vantaggio di non utilizzare mezzo di contrasto, è veloce nell'esecuzione e permette di eseguire molte prove in poco tempo e lavorare in maniera statistica con numerosi dati acquisiti. Questo tipo di prova , per la sua versatilità e velocità , e molto utili per controlli in corso d'opera. Deve sempre essere associata a una prova di carico su piastra convenzionale (statica) di taratura.

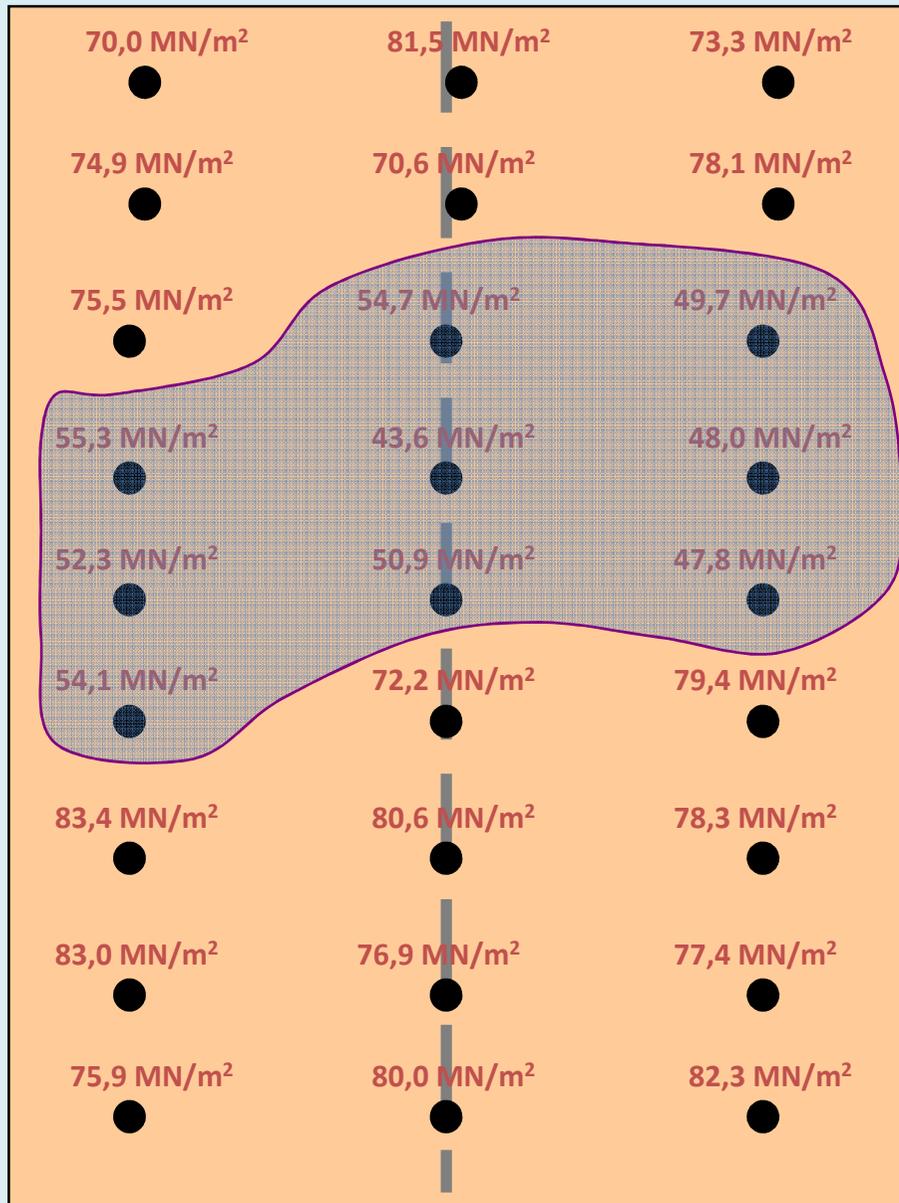


Prova di carico su piastra statica

Prova di carico su piastra dinamica



Esempio di mappatura con prove di carico su piastra dinamica



Verifica del grado di compattazione di un rilevato stradale prima della fase di asfaltatura, mediante mappatura della superficie con l'ausilio della Prova di Carico su Piastra Dinamica

La distribuzione dei punti di prova e i relativi risultati hanno permesso di localizzare un'area disomogenea, con scarsi valori di Modulo Dinamico (evidenziata in figura), indicativa di locale vulnerabilità.

Possibili Cause:

- Compattazione insufficiente o inadeguata
- Locale ristagno d'acqua
- Materiale disomogeneo
- Spessori disomogenei
- Sottofondo non idoneo o disomogeneo

Requisiti strato in misto cementato

Gli strati in misto cementato sono costituiti da una miscela di ghiaia e sabbia impastato con cemento e acqua. Può essere confezionato in impianto centralizzato a produzione continua con dosatori a peso di volume, oppure confezionato in sito tramite utilizzo di spandicemento e pulvimixer (stessa tecnica del trattamento a calce) .

Saranno impiegate ghiaie e sabbie con percentuale di frantumato complessivo non inferiore al 40% in peso e dovranno avere le stesse caratteristiche degli inerti utilizzati nello strato in misto granulare precedentemente descritto, ad esclusione del diametro massimo che non deve avere dimensioni superiori a 40 mm e dovrà essere compresa nel seguente fuso di riferimento:

Serie crivelli e setacci U.N.I.	Miscela passante. % totale in peso
Crivello 40	100
Crivello 30	80 ÷ 100
Crivello 25	72 ÷ 90
Crivello 15	53 ÷ 70
Crivello 10	40 ÷ 55
Crivello 5	28 ÷ 40
Setaccio 2	18 ÷ 30
Setaccio 0,40	8 ÷ 18
Crivello 0,18	6 ÷ 14
Setaccio 0,075	5 ÷ 10

La percentuale esatta di acqua e cemento (*Portland, pozzolanico 325 o 425 escluso cemento a rapido indurimento*) saranno stabilite in relazione ad uno studio di laboratorio in cui verranno confezionati dei provini da sottoporre a prova di compressione e trazione indiretta (Brasiliana) dopo 7 giorni di maturazione in ambiente umido (norma B.U. CNR n. 29)

I provini confezionati (tre per ogni tipo di prova e dosaggio di cemento) dovranno avere resistenza a compressione dopo 7 giorni compresa fra 2.5 e 4.5 N/mm² ed a trazione indiretta non inferiore a 0.25 N/mm².



La stesa della miscela dovrà avvenire con temperature ambientali comprese fra 0°C e 25°C in assenza di pioggia.

Lo strato non dovrà superare lo spessore di 30 cm dopo compattazione . Il controllo viene eseguito con prelievo di materiale fresco durante la stesa che servirà per confezionare dei provini da sottoporre a prova di compressione e trazione indiretta dopo 7 giorni di maturazione, in alternativa vengono prelevati dei provini in sito con carotatrice e sottoposti alle prove di laboratorio sopra descritte. Anche per gli strati in misto cementato è previsto la determinazione del modulo di deformazione **Md** con prova di carico su piastra da eseguirsi nell'intervallo di tempo compreso fra 3 e 12 ore dopo la compattazione.

Il modulo di deformazione Md dovrà essere di almeno 100 MPa calcolato nell'intervallo di carico compreso tra 0.15-0.25 N/mm².

Considerazioni sulla classificazione dei materiali – Norma UNI 10006/02

Fino ad ora, parlando delle tipologie di materiale da utilizzare, abbiamo fatto riferimento a terreni appartenenti ai gruppi A1, A2, A3 ecc della norma UNI 10006/02.

Questa semplificazione nel classificare l'idoneità dei materiali, che prende in considerazione solo i parametri granulometrici e di consistenza, può essere sufficiente per i soli terreni fini ed appartenenti ai gruppi A2, A4, A5, A6, A7 e A8.

Per i materiali ghiaiosi diventa fondamentale valutare anche altre caratteristiche indicative del comportamento fisico-meccanico.

	Classi	Terre ghiaio-sabbiose (passante allo staccio mm 0,075: < 35%)						Terre limo-argillose (passante allo staccio mm 0,075: > 35%)				Torbe e terre organiche palustri		
	Gruppo	A 1		A 3	A 2				A 4	A 5	A 6	A 7		A 8
	Sottogruppo	A 1a	A 1b		A 2-4	A 2-5	A 2-6	A 2-7				A 7-5	A 7-6	
Caratteristiche per la identificaz. del gruppo	Granulometria % pass. al mm 2 pass. al mm 0,4 pass. al mm 0,075	≤ 50 ≤ 30 ≤ 15	≤ 50 ≤ 25	> 50 ≤ 10	≤ 35				> 35					
	Caratt. del pass. al 0,4 mm Limite liquido Limite plastico Indice plastico				≤ 40	> 40	≤ 40	> 40	≤ 40	> 40	≤ 40	≥ 30	< 30	
Osservazioni	Indice di gruppo	0	0	0	0	≤ 4		≤ 8	≤ 12	≤ 16	≤ 20			
	Materiali più comuni	ghiaia o breccia event. con sabbia scorie vulcaniche (pomici, pozzolane)		sabbia fine	sabbia (event. con ghiaia o breccia) limosa o argillosa				limi compressibili poco		argille poco compressibili	arg. fortemente compressibili media-fortemente plastiche		
	Qualità portanti (in assenza di gelo)	da eccellenti a buone						da mediocri a scadenti				da scartare		
	Azione del gelo	nessuna o lieve			media			molto elevata		media	elevata		media	
	Ritiro o rigonfiamento	nullo			nullo o lieve			lieve o medio		elevato		molto elevato		
	Permeabilità	elevata			media o scarsa			scarsa o nulla						
	Caratteri più evidenti	palesi		- Aspri al tatto - Allo stato secco: incoerenti	- Aspri al tatto - La maggior parte dei granuli sono visibili a occhio nudo - Tenacità media o elevata allo stato secco è indice di presenza di argilla				* Prova di scuotimento: positiva - Allo stato secco: incoerenti o poco tenaci - Allo stato umido: non facilmente modellabili.		* Prova di scuotimento: negativa - Allo stato secco: tenaci - Allo stato umido: facilmente modellabili		- Color bruno o nero - Aspetto e spesso odore caratteristici - Talvolta fibrosi	

Classificazione UNI - CNR delle terre (Norma 10006)

**ELENCO DELLE PRINCIPALI PROVE PREVISTE NELLA NORMA UNI 10006/02
PER LA DEFINIZIONE DELLE CARATTERISTICHE
GEOTECNICHE DEGLI AGGREGATI**

Granulometria	UNI EN 933 – 1
Limiti di Atterberg	CNR UNI 10014
Equivalente in sabbia	UNI EN 933 – 8
Resistenza alla frammentazione (Los Angeles)	UNI EN 1097 – 2
Indice di forma	UNI EN 933 – 4
Indice di appiattimento	UNI EN 933 – 3
Indice di portanza CBR	CNR UNI 10009
Resistenza al gelo-disgelo	UNI EN 1367 – 1
Proctor AASHO modificata	B.U. CNR 69
Resistenza all'usura (Micro-DEVAL)	UNI EN 1097 – 1
Valore di levigabilità (CLA)	UNI EN 1097 – 8

Le prove devono essere eseguite da laboratori autorizzati ai sensi dell'art. 59 del DPR 380

Esempi di ghiaie con diverse caratteristiche prestazionali



1. Spezzato di calcarenite



2. Spezzato di ghiaia calcarea



3. Ghiaia calcarea subarrotondata di origine alluvionale



4. Ghiaia appiattita e subarrotondata alluvionale arenacea

Prove eseguite	1 Spezzato di calcarenite	2 Spezzato di ghiaia calcarea	3 Ghiaia calcarea subarrotondata di origine alluvionale	4 Ghiaia appiattita e subarrotondata alluvionale arenacea
Granulometria Class. UNI 10006 - Gruppo	In fuso A1a	In fuso A1a	In fuso A1a	In fuso A1a
Limiti di Atterberg	n. p.	n. p.	n. p.	n. p.
Equivalente in sabbia	25.8 %	28.5 %	25.2 %	50.5 %
Resistenza alla frammentazione Los Angeles	57.5 %	24.5 %	18.7 %	41.5 %
Indice di forma	30.1 %	15.8 %	10.8 %	62.8 %
Indice di appiattimento	25.4 %	13.1 %	8.4 %	45.3 %
Indice di portanza CBR	50.1 %	98 %	95 %	53.5 %
Resistenza al gelo-disgelo	15.33 %	1.1 %	0.9 %	4.8 %
Resistenza all'usura - Micro-deval	86.6 %	16.8 %	14.5 %	52.2 %
Possibili utilizzi	<i>sottofondo</i>	<i>fondazione</i>	<i>fondazione</i>	<i>sottofondo</i>

**ELENCO DELLE PROVE PREVISTE NELLA NORMA UNI 10006/02
PER I CONTROLLI IN SITO (Densità e Modulo di deformazione)**

Densità in situ per aggregati con dimensioni < 20 mm	B.U. CNR 22
Prova di carico su piastra	B.U. CNR 146



Prova di densità in situ



Prova di carico dinamico su piastra



Prova di carico statico su piastra

FREQUENZA DELLE PRINCIPALI PROVE DI CONTROLLO DA ESEGUIRE PER OGNI STRATO (SALVO DIVERSE PRESCRIZIONI DI CAPITOLATO)

Tipo di prova	Frequenza
Classificazione CNR UNI 10006/02	1 x 500 m ³
Costipamento AASHO Mod. CNR	1 x 500 m ³
Massa volumica B.U. CNR 22	1 x 200 m
Prova di carico su piastra CNR n. 146	1 x 200 m
Controllo umidità CNR UNI 10008	1 x 500 m ³

N.B. Ogni volta che si cambia fornitore e provenienza del materiale bisogna eseguire nuovamente le prove previste nella norma uni 10006/02 per la definizione delle caratteristiche geotecniche degli aggregati: Los Angeles, Micro-Deval, resistenza al gelo-disgelo, indice di forma ecc.

AGGREGATI DI RICICLO

Possono (devono) essere utilizzati in alternativa ai tradizionali materiali provenienti da cava.

Il D. M. n° 203/03 impone alle Pubbliche Amministrazioni di soddisfare il proprio fabbisogno annuale di manufatti e infrastrutture con una quota non inferiore al 30% di prodotti ottenuti con materiale riciclato.

Il Ministero dell'Ambiente con la circolare n° 5205/05 ha reso note le disposizioni per attuare nel settore edile, stradale e ambientale il D. M. 203/03. In tale circolare sono definiti alcuni dei possibili riutilizzi degli aggregati di riciclato e le loro **caratteristiche prestazionali, che devono essere assimilabili a quelle degli inerti tradizionali** (sottofondi , rilevati e fondazioni stradali, recuperi ambientali, riempimenti, colmate, ecc, ecc). Tali caratteristiche sono simili a quelle riportate in **Appendice A** della norma UNI 10006/02

Per approfondire l'argomento si consiglia di consultare gli atti del convegno "Caratterizzazione geotecnica degli aggregati di riciclo" sul sito www.mucchilab.it

1. Riciclato di calcestruzzo



2. Riciclato di laterizio



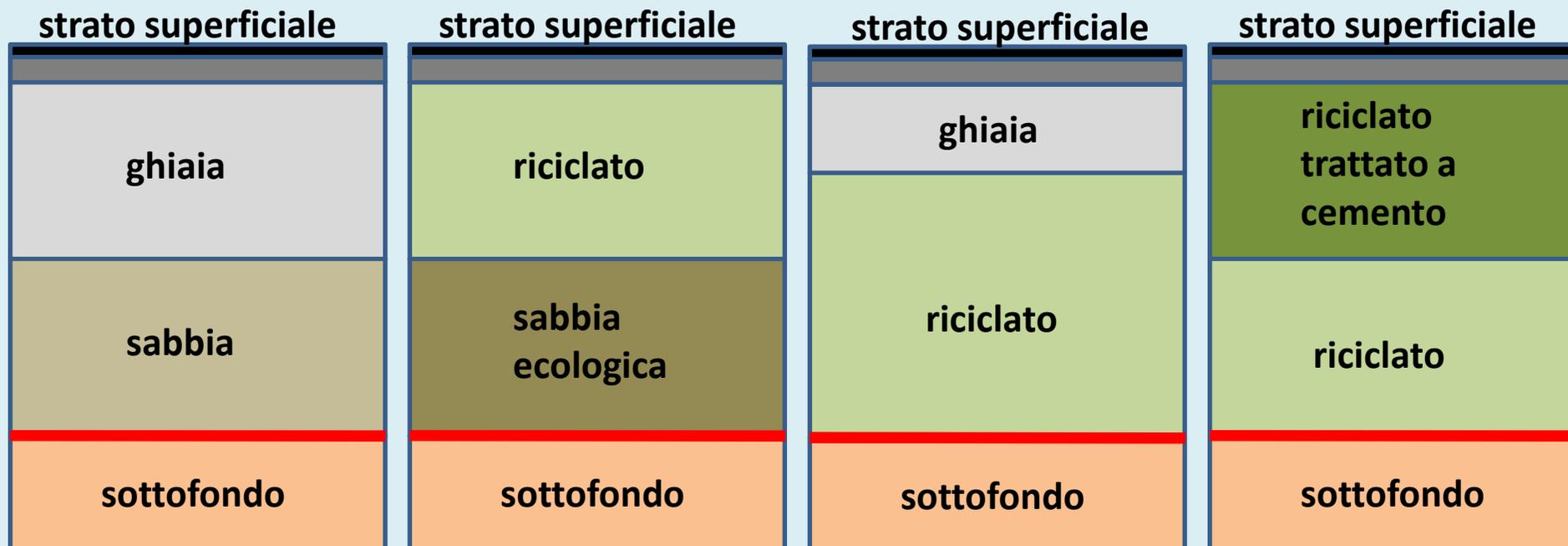
3. Riciclato misto cls e laterizio



4. Sabbietta ecologica



ESEMPI DI POSSIBILE UTILIZZO DEL RICICLATO IN ALTERNATIVA AI MATERIALI TRADIZIONALI



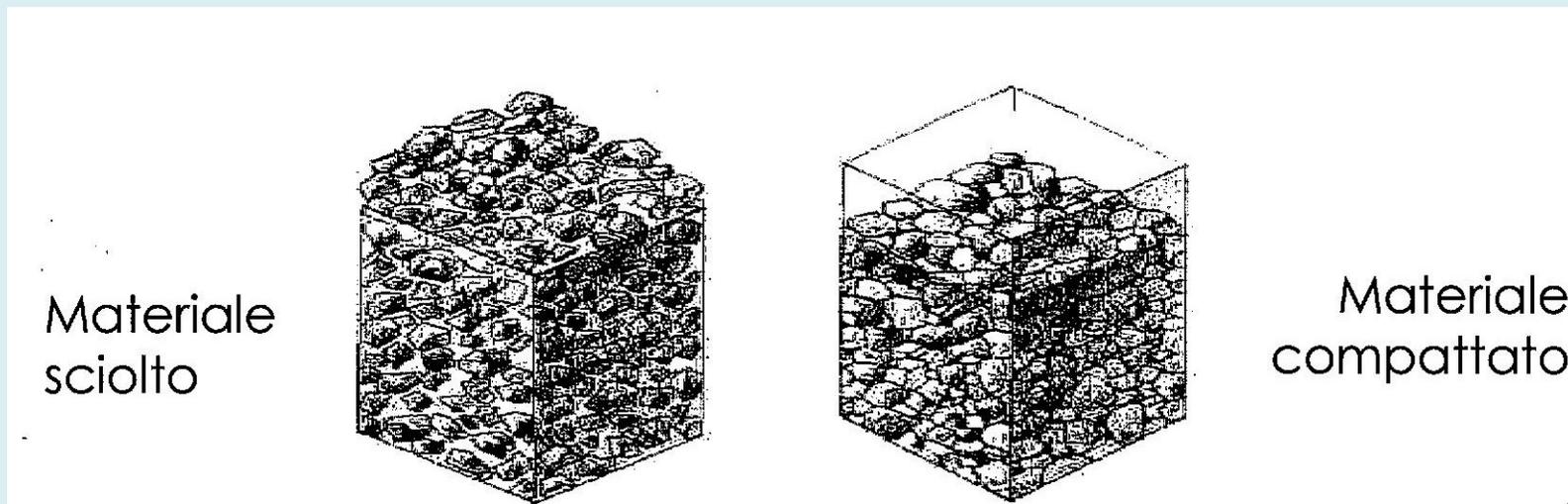
LA COMPATTAZIONE

La compattazione dei materiali ha un ruolo fondamentale per assicurare al manufatto le caratteristiche di stabilità e durata richieste.

- **Diminuisce il rischio di deformazioni** che potrebbero produrre cedimenti del rilevato e della fondazione della pavimentazione con danneggiamenti dello strato di usura e relativa formazione di fessure che portano ad infiltrazioni d'acqua nel corpo del rilevato
- **Produce l'incremento di attrito interno:** accresce considerevolmente le caratteristiche meccaniche dei materiali, i moduli di deformazione del terreno così come la resistenza alla compressione ed al taglio
- **Contribuisce al decremento dell'indice dei vuoti** e conseguente miglioramento della impermeabilità dei materiali che è un effetto importante soprattutto per gli strati superficiali, ma non disprezzabile per le parti interne del rilevato

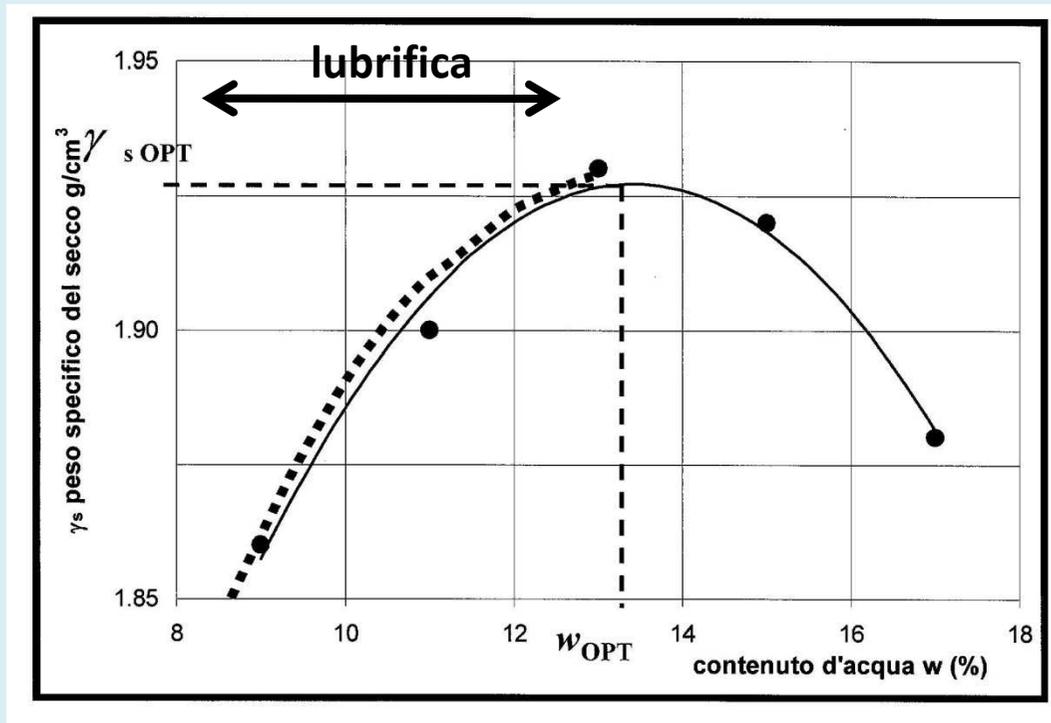
Gli effetti del costipamento sono :

- **Avvicinamento dei granuli:** si evitano così cedimenti dovuti a carichi fissi e vibrazioni; deve essere uniforme per impedire i cedimenti differenziali che provocano rotture
- **Incastro dei granuli:** in questo modo si incrementa la resistenza al taglio
- **Riduzione della permeabilità:** proteggendo il corpo stradale , particolarmente nella parte bassa



I fattori che influenzano il costipamento sono:

- Tipo di materiale
- Tecnica di costipamento
- Spessore dello strato
- **Contenuto d'acqua:** piccole quantità lubrificano; un eccesso di acqua invece riduce i vuoti ostacolando l'avvicinamento dei granuli



La stima del grado di costipamento può essere effettuata con prova di carico su piastra (CNR UNI n° 146/92) e densità in situ (Norma CNR n° 22).

Prova di carico su piastra

La prova serve a definire, mediante il modulo di deformazione M_d , la rigidità dello strato compattato.

$$M_d = \frac{\Delta p}{\Delta s} * D \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

Dove:

Δp (N/mm²) : intervallo di pressione trasmessa dalla piastra

Δs (mm) : corrispondente incremento di cedimento

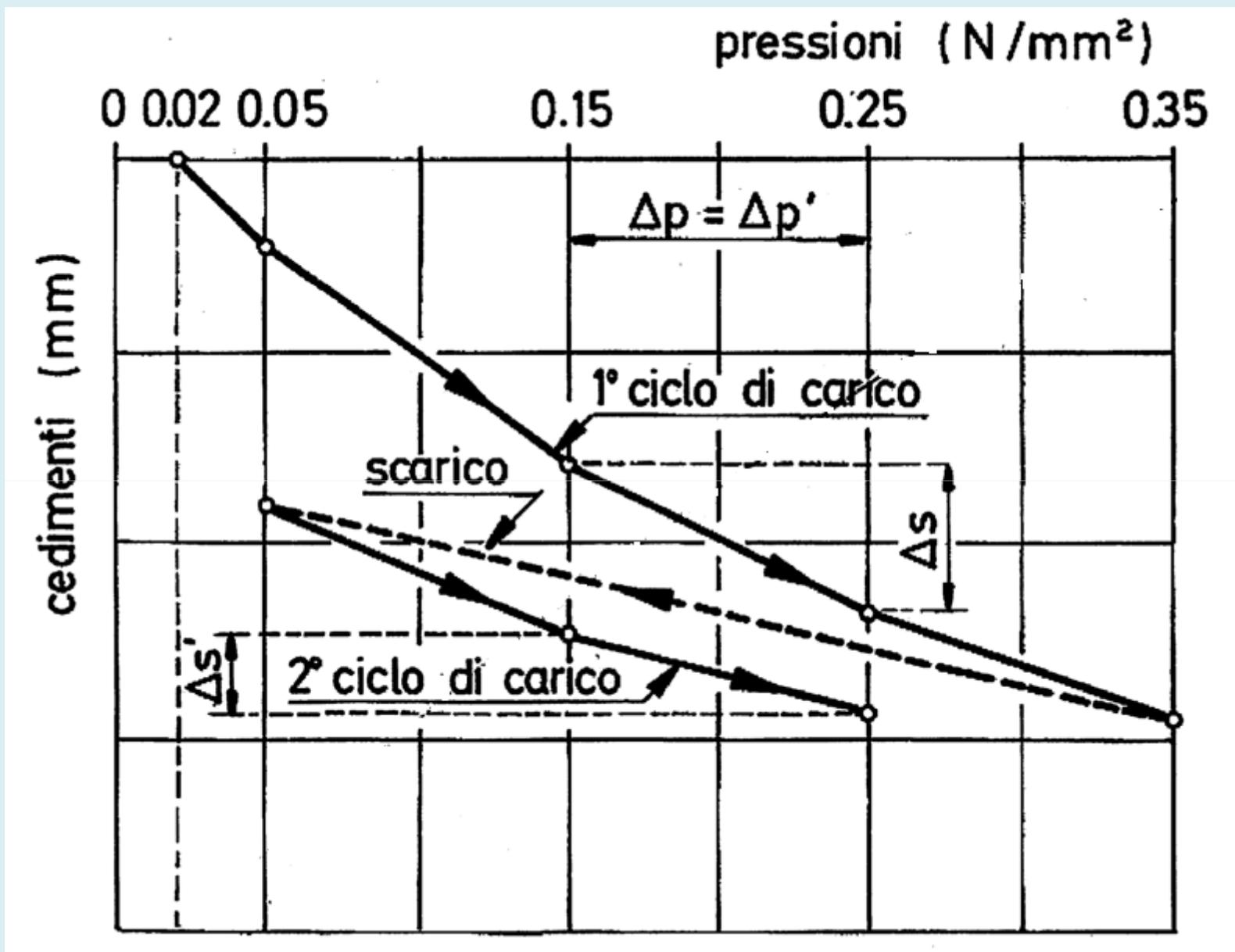
D : diametro della piastra (300 mm)

La prova con piastra deve essere effettuata mediante un doppio ciclo di carico; con il primo si determina il modulo M_d convenzionalmente indicativo della portanza, con il secondo si determina il modulo M_d' necessario per valutare, mediante il rapporto M_d/M_d' il grado di costipamento dello strato in esame.

Il rapporto M_d/M_d' (≤ 1) risulta tanto più prossimo a 1 quanto migliore è la qualità del costipamento.

L'intervallo di carico (Δp) mediante il quale viene calcolato il valore del modulo di deformazione M_d varia a seconda dello strato che si sta analizzando:

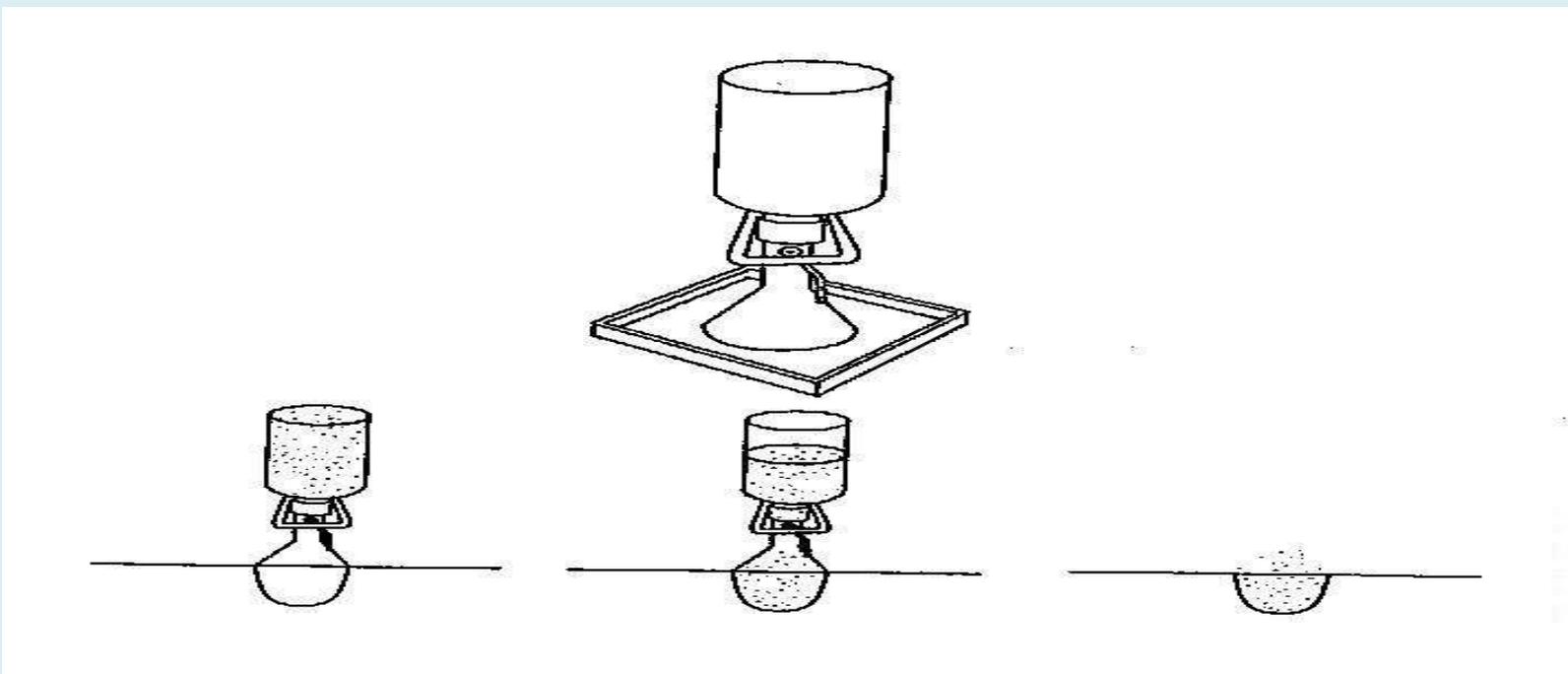
- Per sottofondi è compreso tra 0.05 e 0.15 N/mm²
- per la fondazione tra 0.15 e 0.25 N/mm²
- per la base tra 0.25 e 0.35 N/mm² .



Prova di densità

Il controllo della densità in situ (Norma CNR n° 22) è necessario per verificare che il grado di addensamento raggiunto sia \geq al 90-95% di quello Optimun desunto dalla prova di compattazione AASHO mod.

Questa prova si esegue sui materiali aventi dimensioni dei granuli < 20 mm. Il mezzo di verifica più usato è il volumometro a sabbia calibrata.



Il metodo consiste nel prelievo di una quantità nota di materiale mediante l'esecuzione di un foro di forma il più regolare possibile riempito con sabbia calibrata monogranulare che permette di determinarne il volume.

Il peso di volume γ_n in condizioni di umidità naturali vale:

$$\gamma_n = \text{peso del terreno prelevato} / \text{volume del foro}$$

Determinando successivamente il contenuto d'acqua w (%) sul campione di terreno prelevato, si ottiene il peso di volume secco:

$$\gamma_d = \gamma_n / (1 + w/100)$$

Occorre poi riportare il valore ottenuto di γ_d al valore di progetto, ottenendone la percentuale:

$$\gamma_d / \gamma_{d\text{-progetto}} \geq 90 - 95 \%$$

Spandicalce – fresatrice - rullo

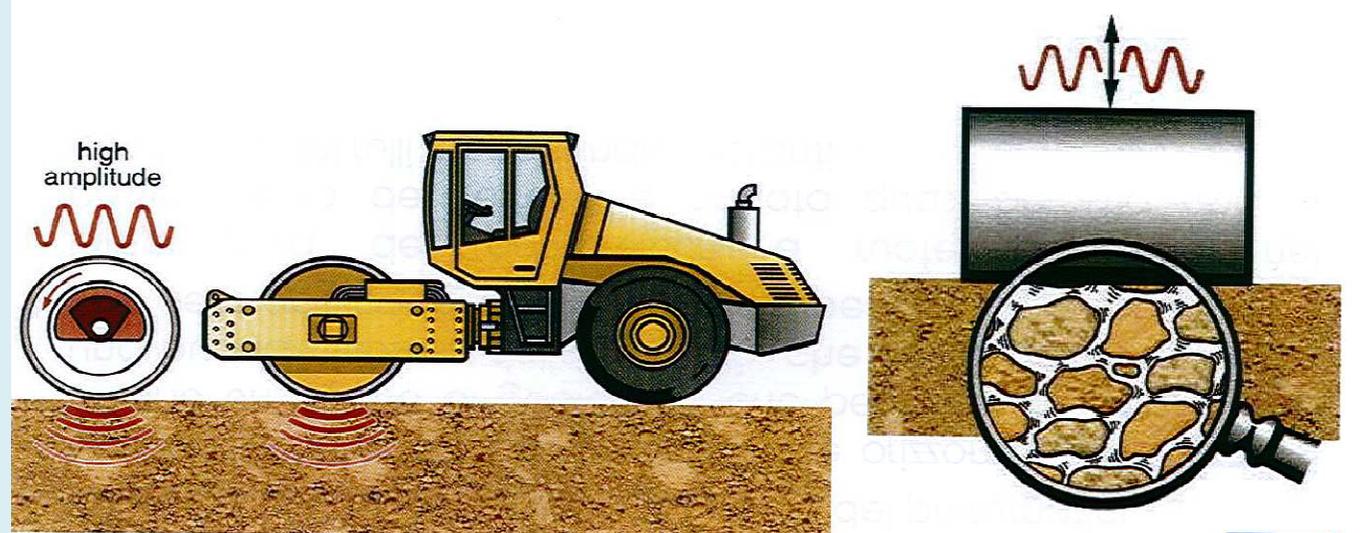


Esempi di rullo gomma-ferro

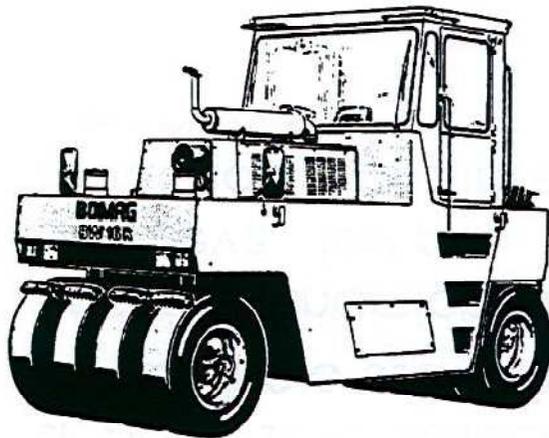




Rullo ferro-ferro



Schema di un rullo ferro-gomma



Rullo gomma-gomma



REQUISITI STRATO SUPERFICIALE DELLA SOVRASTRUTTURA

La parte superiore della sovrastruttura stradale in genere è costituita da un doppio strato di conglomerato bituminoso :

- **Strato superiore di usura.**
- **Strato inferiore di collegamento (binder)**

Entrambi devono possedere una elevata resistenza meccanica e una elevata resistenza a fatica.

Il conglomerato per ambedue gli strati sarà costituito da una miscela di pietrischi, graniglie, sabbie ed additivi mescolati con bitume a caldo e steso in opera mediante macchine vibro finitrici e compattati con rulli adeguati.

REQUISITI DEGLI AGGREGATI COMPONENTI IL CONGLOMERATO BITUMINOSO
(BINDER – USURA)

L'aggregato dovrà essere ottenuto per frantumazione e costituito da elementi sani, duri, durevoli, approssimativamente poliedrici, con spigoli vivi, a superficie ruvida, puliti ed esenti da polvere o materiali estranei.

L'aggregato sarà costituito da pietrischetti e ghiaie di provenienza e natura diversa, purché risponda ai seguenti parametri :

1) Granulometria compresa nel fuso di riferimento :

Crivelli e setacci (mm)	Binder (% pass.)	Usura (% pass.)
Crivello 25	100	*
Crivello 15	65-1	100
Crivello 10	55-80	70-100
Crivello 5	30-60	43-67
Setaccio 2	20-45	25-45
Setaccio 0.40	7-25	12-24
Setaccio 0.18	5-15	7-15
Setaccio 0.075	4-8	6-11

	Binder	Usura
2) Perdita in peso alla prova Los Angeles	< 25%	<20%
3) Coeff. Di appiattimento	< 15%	< 15%
4) Percentuale superfici frantumate	100%	100%
5) Equivalente in sabbia	> 60%	> 75%
6) Resistenza al gelo disgelo	<1	< 1
7) Resistenza alla levigabilità CLA	> 44	> 44
8) Resistenza all'usura Micro Deval	*	< 10

La verifica dei requisiti di idoneità degli aggregati deve essere fatta prima dello studio del mix design del conglomerato bituminoso.

E' consentito anche l'utilizzo di materiale fresato di recupero (disgregazione di vecchie pavimentazioni) e di scorie di fonderie in percentuali ridotte che devono essere dichiarate nelle prescrizioni di capitolato con i relativi requisiti di idoneità.

REQUISITI DEL CONGLOMERATO BITUMINOSO
(BINDER – USURA)

Il conglomerato per ambedue gli strati sarà costituito da una miscela di pietrischi, graniglie, sabbie ed additivi mescolati con bitume a caldo dovrà rispondere ai seguenti parametri di riferimento :

	Binder	Usura
1) Contenuto bitume riferito al peso degli aggregati	4.5-5.5 %	4.5-6.0 %
2) Stabilità Marshall eseguita a 60° su provini costipati con 75 colpi per faccia	> 900 Kg	> 1000 Kg
3) Rigidezza Marshall	>300	>300
4) Vuoti residui a rullatura ultimata	<8%	< 6%

*Il mix design del conglomerato bituminoso (binder e usura) sino ad ora è sempre stato fatto con il metodo Marshall che prevede confezionamento di provini **tramite compattatore** e successive prove di compressione per la determinazione della stabilità e rigidità Marshall. Recentemente i provini vengono confezionati **mediante pressa giratoria** (metodo volumetrico) e sottoposti a prova di trazione indiretta (Brasiliana). Tale metodo sembra fornire una modalità di costipamento più simile al reale addensamento in sito sotto le azioni del rullo.*

Le prescrizioni prestazionali richieste sono quelle riportate nelle seguenti tabelle.

Tabella 5.9. Prescrizioni per il mix design dello strato di binder mediante metodo volumetrico

Metodo volumetrico		Valori
Condizioni di prova	Angolo di rotazione	1,25 ± 0,02
	Velocità di rotazione (rotazioni/minuto)	30
	Pressione verticale (kPa)	600
	Diametro del provino (mm)	100
Risultati richiesti	Vuoti a 10 rotazioni - N1 (%)	11-15
	Vuoti a 100 rotazioni - N2 (%)	3-6
	Vuoti a 180 rotazioni - N3 (%)	≥ 2
	Indice dei vuoti dopo la stesa	3 < V _m < 8

Tabella 5.10. Dati meccanici (25°C a N3 = 180 giri)

Dati	Valori
Resistenza a trazione indiretta (N/mm ²)	0,72-1,40
Coefficiente di trazione indiretta (N/mm ²)	≥ 65

Attualmente, in questa fase transitoria, vengono ancora richiesti i due metodi per lo studio del mix design del conglomerato bituminoso.

Pressa giratoria

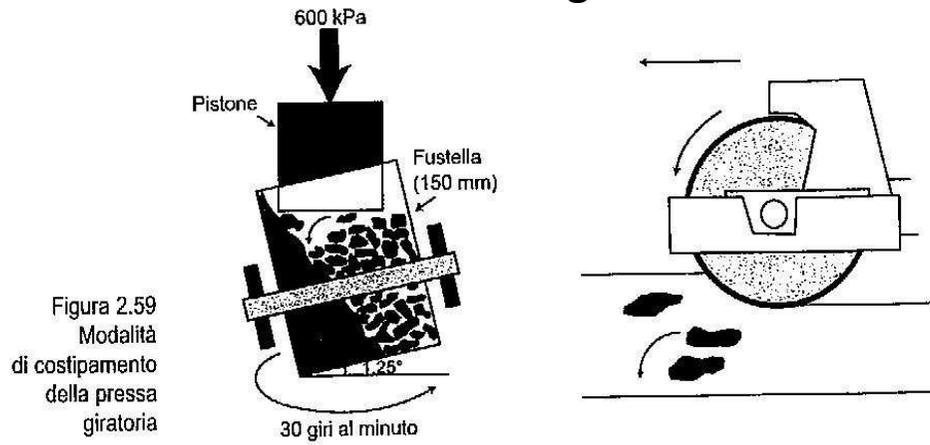


Figura 2.59
Modalità
di costipamento
della pressa
giratoria

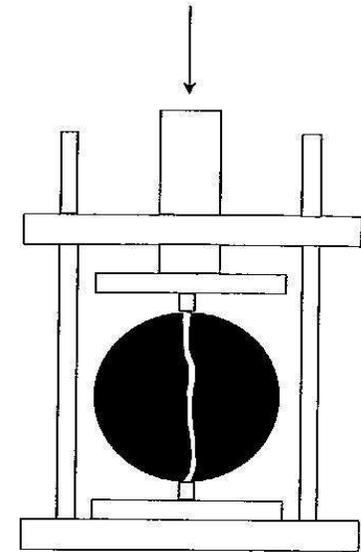
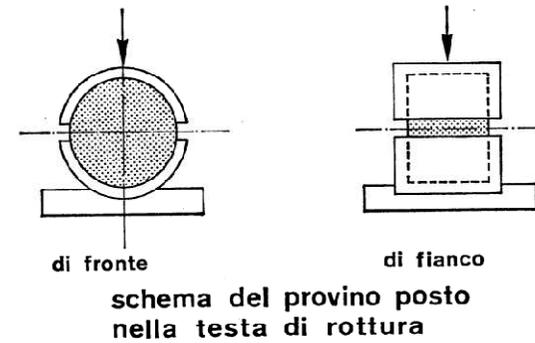
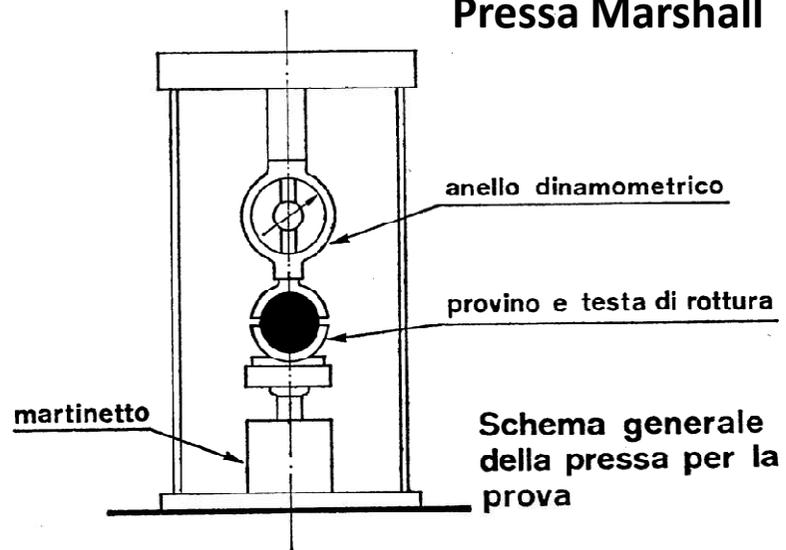


Figura 5.4
Configurazione di prova
per il test a trazione indiretta

Pressa Marshall



CONTROLLI DA ESEGUIRE SUI CONGLOMERATI BITUMINOSI

a) Controllo caratteristiche meccaniche della miscela in corso d'opera

Durante la stesa bisogna fare prelievi di conglomerato bituminoso da sottoporre a prove di laboratorio per verificare se le caratteristiche della miscela sono rispondenti allo studio del mix design prescritto nel capitolato.

Se il capitolato prevede la verifica della rigidità e stabilità Marshall si dovranno preparare provini con il metodo della compattazione e successive prove di compressione. Nel caso venga invece richiesto il metodo volumetrico, i provini da sottoporre a prova di trazione indiretta andranno confezionati con la pressa giratoria.

b) Controllo da eseguirsi sui conglomerati bituminosi a fine lavori dopo rullatura

Tali controlli servono per accertare le caratteristiche e la buona esecuzione della pavimentazione. Si rende necessario l'utilizzo di una carotatrice elettrica per il prelievo di campioni da sottoporre ad analisi di laboratorio



Sui provini (carote) occorre fare i seguenti controlli sugli strati di binder e di usura:

- Spessori*
- Peso di volume*
- Peso specifico degli aggregati (valori alti indicativi presenza di scorie)*
- Contenuto percentuale di bitume*
- Granulometria degli aggregati*
- Percentuale vuoti residui (indicativi del grado di compattazione)*

Tabella 5.11. Stato di base e binder: tipo e frequenza delle prove

Tipo di controllo		Frequenza
Verifica piano di posa	Verifica quota	Ogni stesa
	Mano d'attacco	
Trasporto		Ogni carico
Verifica composizione sulla miscela prima della stesa	Curva granulometrica	Controllo generale mix approvato
	Additivi	
	Peso di volume	
	% di bitume	
	% dei vuoti	
	Stabilità	
Rigidezza		
Mezzi di stesa e di costipazione		Ogni stesa
Temperatura di stesa e temperatura dell'aria		
Verifica caratteristiche conglomerato steso	Granulometria	Ogni giorno di stesa
	Peso di volume	
	% di bitume	
	% dei vuoti	
Spessore strato finito		1 carota ogni 500 m stesi

STRATO DI BASE

Sino ad ora abbiamo sempre parlato di sovrastruttura composta da uno strato portante (fondazione) e strato superficiale. Questo tipo di sovrastruttura è quello normalmente adottato per strade urbane ed extraurbane di **categorie B-C-D-E-F**.

Per strade di **categoria A**, autostrade o superstrade, ad alta densità di traffico anche pesante la sovrastruttura viene progettata prevedendo l'introduzione di uno strato (**base**) interposto tra lo strato superficiale e lo strato portante.



Lo strato di base ha il compito di resistere ai carichi verticali trasmessi localmente dagli strati superficiali a diretto contatto con il traffico, ripartendoli sulla sottostante fondazione di minore qualità portante . Deve possedere una elevata resistenza meccanica, un'elevatissima resistenza a fatica e una sufficiente flessibilità, per poter seguire , sotto gli stessi carichi, l'eventuale assestamento del sottofondo.

Lo strato di base è costituito da un misto granulare di frantumato, ghiaia, sabbia ed eventuale additivo impastato con bitume a caldo, previo preriscaldamento degli aggregati, steso in opera mediante vibrofinitrice e costipato con rulli gommati, vibranti gommati e metallici.

Le modalità di controllo dei materiali utilizzati (inerti e miscele di conglomerato bituminoso) e la loro messa in opera avviene con le stesse modalità precedentemente esposte per i conglomerati bituminosi.

CAPITOLATO: OBBLIGHI DELL'IMPRESA E DELLA DIREZIONE LAVORI

Importanza fondamentale nella buona riuscita dell'opera dipende da un capitolato (**ragionato e pensato senza uso del copia e incolla**) redatto dall'Ente Appaltante che deve riassumere in prescrizione adeguate lo studio del progetto , la scelta dei materiali, le modalità esecutive e i controlli.

Obblighi dell'impresa

Per quanto riguarda la scelta dei materiali l'impresa per poter essere autorizzata ad impiegare i vari tipi di materiali dovrà esibire alla D.L. i relativi Certificati di Marcatura CE attestanti le caratteristiche degli aggregati (inerti per la costruzione di strade UNI EN 13242, inerti per conglomerati bituminosi UNI EN 13043 e miscele di conglomerati bituminosi UNI EN 13108)

Con la legislazione vigente tutti i produttori dei materiali sopra descritti sono obbligati a eseguire la marcatura CE dei loro prodotti . Il periodo transitorio prima dell'entrata in vigore di tale **OBBLIGO** si è concluso l'1 marzo 2008.

Obblighi della Direzione Lavori

Compito fondamentale della Direzione Lavori è quello di verificare che i materiali che verranno utilizzati per la realizzazione dell'opera abbiano i requisiti prestazionali previsti nel capitolato.

Non è sufficiente accettare i certificati, forniti dall'impresa, perché non è detto che questi si riferiscano ai materiali che verranno effettivamente utilizzati.

Infatti le norme per la marcatura CE per alcune prove prevedono frequenze di controllo semestrali (Los Angeles) o addirittura annuali (Gelo disgelo , Micro-Deval).

Importante distinguere che la marcatura CE regola solo le fasi di produzione che possono non soddisfare le richieste prestazionali previste per le varie tipologie di intervento .

E' compito del produttore organizzare l'impianto di produzione affinché i materiali prodotti abbiano i requisiti richiesti dai capitolati .

La D.L. dovrà provvedere al campionamento dei materiali e sottoporli a prove di laboratorio per accertarne la loro idoneità .

La D.L. oltre al controllo dei materiali da utilizzare ha anche l'obbligo di verificare che in corso d'opera vengano rispettate tutte le fasi lavorative affinché si raggiungano le prestazioni previste .

Dovrà quindi programmare regolari verifiche e controlli in corso d'opera e a lavori ultimati per accertarne la buona esecuzione.

**LE VERIFICHE SUI MATERIALI ANALIZZATI E I CONTROLLI
IN CORSO D'OPERA DOVRANNO ESSERE ESEGUITI DA
LABORATORI AUTORIZZATI DAL MINISTERO
INFRASTRUTTURE E TRASPORTI AI SENSI DELL'ART. 59
DEL DPR 380/2001, COME PREVISTO DALLE NORME
TECNICHE DELLE COSTRUZIONI DEL 14/01/2008.**

Grazie per l'attenzione

FINE