



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI NAPOLI "FEDERICO II"
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA DEI TRASPORTI

CORSO DI AGGIORNAMENTO PER I DIPENDENTI AGIP

BRUNA FESTA

AGGREGATI LAPIDEI

QUADERNI DEL DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA DEI TRASPORTI
N. 46/2 - ANNO 1996



D.I.T.



AGGREGATI LAPIDEI

INTRODUZIONE

L'aggregato lapideo riveste un ruolo fondamentale nella costituzione delle pavimentazioni stradali ed aeroportuali, essendo lo scheletro solido che costituisce i vari strati della pavimentazione, sia sciolti che legati con bitume. Esso è parte preponderante del volume complessivo dell'opera, nei misti granulari oltre il 60 % e nei conglomerati bituminosi dal 92 al 96 %. In termini economici, invece, incide di circa il 30 % del costo complessivo.

La conoscenza della sua natura e delle sue caratteristiche geometriche, chimico-fisiche e meccaniche è di fondamentale importanza non solo ai fini della sicurezza e della corretta progettazione della pavimentazione, ma anche nei riguardi dell'economia della costruzione e della manutenzione. Il tipo di materiale e la sua qualità sarà, infatti diversa al variare della funzione a cui è chiamato ad assolvere e della posizione nella sovrastruttura.

Una classificazione fra gli aggregati la si può fare distinguendo fra aggregati naturali e aggregati artificiali. I primi traggono origine dal processo di disgregazione naturale o di frantumazione artificiale delle rocce naturali. Essi possono essere divisi convenzionalmente in tre classi al variare della dimensione delle particelle: i granulati o frantumati, le sabbie e i fillers, definiti dalle classi riportate nei b.u. 139/92 CNR.

Gli aggregati artificiali sono, invece, materiali ottenuti artificialmente attraverso procedimenti industriali (ceneri volanti, argille espanse/torrefatte, scorie d'alto forno raffreddate in aria). In generale, attesi gli alti costi di produzione, tali inerti trovano oggi giustificazione nell'impiego solo quando risulta difficile reperire aggregati naturali. Viceversa può essere economicamente vantaggioso il loro utilizzo quando esistano problemi di smaltimento di sottoprodotti di lavorazioni industriali, allorché tali sottoprodotti possano fungere da aggregati.

Aggregati artificiali

In generale per il confezionamento delle miscele di conglomerato bituminoso si utilizzano come aggregati artificiali solo le scorie d'alto forno; talvolta, ma con funzione di solo filler anche le ceneri volanti.

Le scorie d'alto forno sono sottoprodotti della produzione degli acciai, potendosi classificare dal punto di vista chimico come silicati e alluminosilicati di calcio e sodio. Per raffreddamento di tali prodotti in aria, o eventualmente in maniera accelerata ricorrendo a getti superficiali di acqua, si ottengono materiali (granulati) di peso specifico minore degli aggregati naturali.

Le ceneri volanti sono invece il residuo solido della combustione del carbone nelle centrali termoelettriche. In generale vengono utilizzate unitamente alla calce dando luogo ad una reazione di carbonatazione, ma nei conglomerati bituminosi possono fungere anche da solo inerti di granulometria pari ad un filler.

CARATTERISTICHE DEGLI AGGREGATI

Si è detto come l'aggregato lapideo risulti essere parte fondamentale delle miscele di impiego stradale. Le sue caratteristiche incidono in maniera sensibile sul comportamento complessivo della miscela, in particolare sulla stabilità, ovvero sull'attitudine richiesta alla miscela a conservare inalterate nel tempo le proprie caratteristiche meccaniche. Tale stabilità dipende da molteplici fattori, tutti capaci di modificare in maniera significativa il comportamento della miscela; è opportuno, allora, esaminarli in maniera specifica.

1. Composizione granulometria.

Le norme tecniche del C.N.R. (Bollettino Ufficiale n° 139, 4 marzo 1992: "criteri e i requisiti di accettazione degli aggregati utilizzati nelle sovrastrutture stradali") forniscono una classificazione degli aggregati utilizzati per la realizzazione delle pavimentazioni stradali, distinguendo fra inerti provenienti da frantumazione delle rocce lapidee e inerti naturali a spigoli vivi e tondeggianti (tab.1).

La miscela granulometrica che verrà utilizzata per la realizzazione dei vari strati costituenti la sovrastruttura stradale (b.u. 176/95 e 139/92) risulterà composta da un'opportuna combinazione delle varie classi di aggregati individuate. La distribuzione viene generalmente rappresentata graficamente mediante una "curva granulometrica" (fig.1).

È sottolineato che il comportamento sotto carico dei materiali stradali è molto simile a quello dei materiali sciolti. La rottura avviene, infatti, per scorrimento reciproco fra le particelle.

Applicando al materiale una forza esterna, questa si distribuisce in corrispondenza dei punti di contatto fra i grani. Si generano una componente di tensione normale e una componente di tensione tangenziale, responsabile quest'ultima dello scorrimento fra le particelle. La tensione normale si mantiene al di sotto della resistenza del materiale, rapportata alle elevate caratteristiche richieste ai materiali stradali, mentre la tensione tangenziale può superare la resistenza per attrito fra le particelle, generando scorrimento fra i grani e conseguentemente dissesti nella pavimentazione. Per cui è opportuno aumentare il numero di grani per unità di volume e quindi la superficie di contatto, in questo modo le tensioni intergranulari diminuiscono a parità di forza esterna applicata. Questo lo si ottiene curando l'assortimento granulometrico e cioè scegliendo curve granulometriche in cui siano presenti tutte le pezzature degli inerti (miscele chiuse).

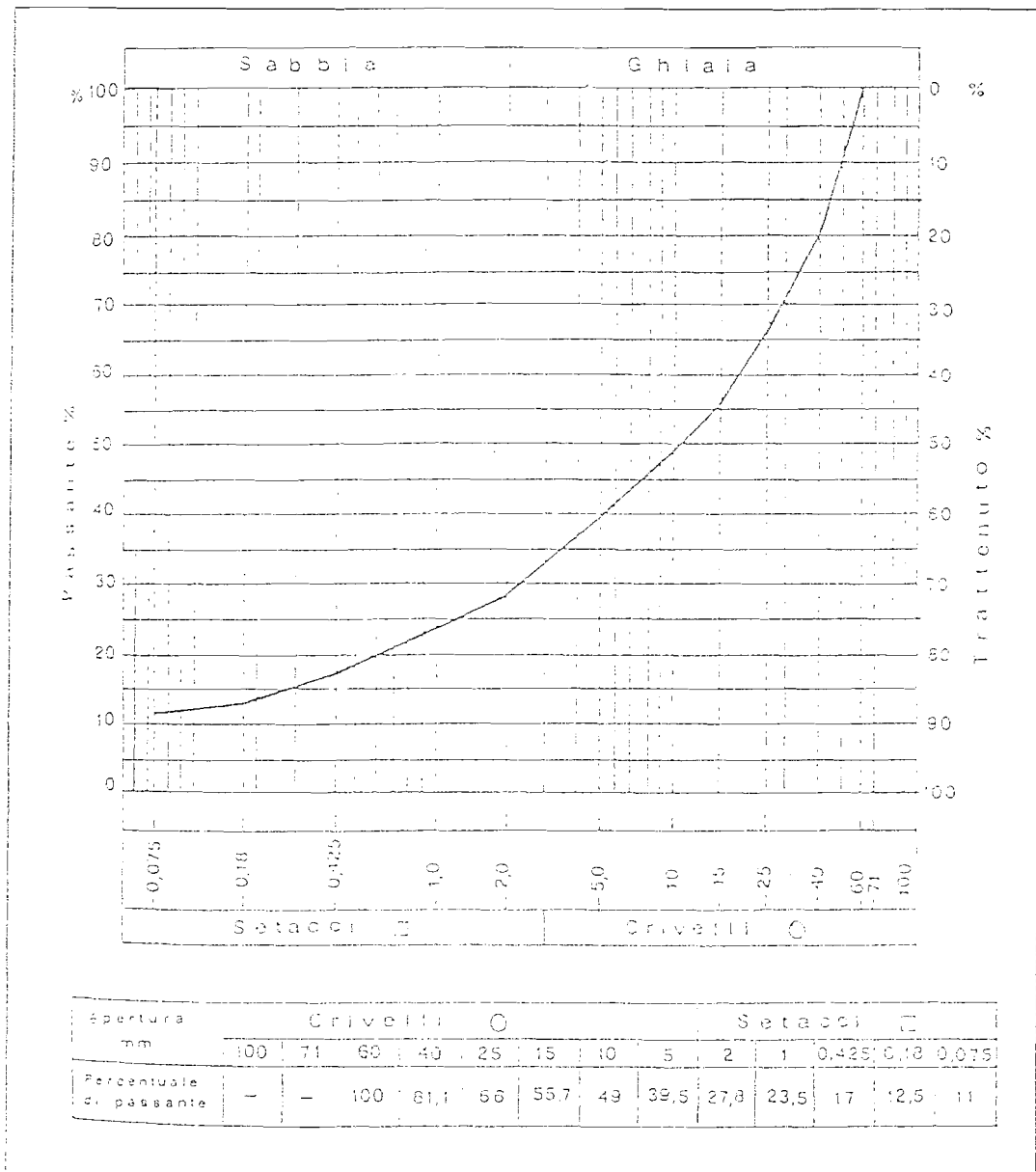


fig. 1 - Curva granulometrica di un aggregato
(dal manuale di ingegneria civile vol. III. Ed ZANICHELLI / ESAC)

Inoltre le miscele di elevata compattezza garantiscono, nelle pavimentazioni flessibili ordinarie, in particolare per lo strato di usura, una ridotta porosità, al fine di ridurre la possibilità che l'acqua meteorica possa penetrare nel corpo stradale.

frantumazione rocce lapidee	elementi naturali tondeggianti	elementi naturali a spigoli vivi	passante al setaccio [mm]	trattenuto al setaccio[mm]	passante al crivello [mm]	trattenuto al crivello [mm]
pietra	ciottolo	pietra	-	63	-	71
pietrisco	ghiaia	breccia	63	20	71	25
pietrischetto	ghiaietto	breccetta	20	8	25	10
graniglia	ghiaino	brecciolino	8	2	10	2
	sabbia		2	0.075	-	-
	sabbione		4	0.075	-	-
	filler		0.075	-	-	-

Tab I. Classificazione degli aggregati lapidei (CNR b.u. n°139/92)

Una miscela di massima compattezza avrà una curva granulometrica che si avvicina a quella proposta Fuller-Thompson:

$$P = \left(\frac{d}{D} \right)^N$$

dove :

P = % passante al setaccio di diametro d

d = diametro del setaccio

D = massimo diametro dell'aggregato

N = coefficiente di correzione per gli aggregati fini o grossolani

N = 0.3 materiali sottili

N = 0.5 curva continua

N = 0.7 materiali grossi

Nei capitolati, al variare del tipo di miscela considerata, vengono prescritti dei fusi granulometrici, tutti contenenti la parabola del Fuller, in maniera da ottenere miscele di compattezza differente al variare della funzione e dell'impiego nei vari strati della sovrastruttura stradale.

A tal proposito si ricorda che le già citate norme del C.N.R. (b.u. n° 139/1992 e 176/95) definisce i vari tipi di miscele impiegabili in campo stradale:

Misto granulare naturale (tout venant): miscela di varie frazioni di aggregato reperibile in natura (alvei di fiume, giacimenti naturali) idonea all'impiego senza alcuna correzione o aggiunta. Non viene considerata correzione granulometrica la semplice vagliatura ad un vaglio sgrossatore, allo scopo di limitare la dimensione massima dell'aggregato grosso.

Misto granulare corretto granulometricamente: miscela che si ottiene da un misto granulare naturale con aggiunta o sottrazione di determinate frazioni granulometriche per migliorare le proprietà fisico-meccaniche

Misto granulare di frantumazione: misto granulare con porzione di aggregato frantumato > 40%

Misto stabilizzato: misto granulare trattato con aggiunta di legante per migliorare le proprietà fisiche e meccaniche, anche in presenza di acqua e di gelo (prove di trazione e flessione).

Come legante può essere usato cemento ottenendosi i misti cementati, il bitume ottenendosi i misti bitumati, le loppe d'altoforno, e la ceniza con pozzolana insieme alla calce, ottenendo i misti legati con leganti idraulici non trattati.

E' possibile, allora, effettuare una distinzione fra i vari strati della sovrastruttura differenziandoli in rapporto alla loro funzione e al tipo di legante utilizzato:

- fondazione in misto granulare naturale o corretto granulometricamente
- base in misto granulare naturale, corretto granulometricamente o di frantumazione
- base in misto stabilizzato con legante bituminoso (misto bitumato).
- base in misto stabilizzato con cemento (misto cementato) o con loppe d'altoforno (misto con loppe)
- collegamento (binder) in conglomerato bituminoso
- usura in conglomerato bituminoso
- trattamenti superficiali e di irruvidimento
- lastre di calcestruzzo di cemento per pavimentazione

2. Forma delle particelle.

Nel confezionamento della miscela di aggregati bisogna assolutamente escludere la presenza di elementi di forma piatta poiché determinano una sensibile diminuzione delle caratteristiche meccaniche.

In primo luogo la facilità di tali elementi a disporsi orizzontalmente aumenta la possibilità che possano rompersi sotto l'azione dei carichi dovuti al traffico. In secondo luogo la forma piatta rende più difficile la fase di costipamento. A questo bisogna aggiungere la difficoltà, nel confezionamento delle miscele legate a bitume, a favorire un perfetto ricoprimento dell'inerte di forma piatta e allungata rispetto a quanto avviene con miscele costituite da elementi poliedrici. Inoltre la minore rugosità degli elementi piatti rispetto a quelli poliedrici ne limita l'impiego agli strati superficiali, dove sono richiesti invece elevati requisiti di aderenza.

Sperimentalmente si nota, nei conglomerati bituminosi, che all'aumentare della percentuale di elementi piatti diminuisce l'addensamento Marshall, e la resistenza nelle prove a compressione e a trazione (di tipo brasiliano).

3. Spigolosità.

Gli aggregati possono essere divisi in due categorie: arrotondati o spigolosi. I primi provengono da depositi alluvionali naturali, i secondi sono ottenuti dalla frantumazione artificiale delle rocce.

In campo stradale sono sempre richiesti aggregati di forma spigolosa. Questo perché tale forma garantisce un elevato angolo di attrito fra le particelle, condizione indispensabile negli strati della pavimentazione non legati affinché non vi sia scorrimento reciproco fra le particelle e, dunque, grosse deformabilità. Parimenti, nei conglomerati bituminosi, sebbene sia presente il legante, è preferibile non affidare ad esso tutta l'azione stabilizzante, garantendo sempre la presenza di un certo attrito interno. Infatti l'azione legante espletata dal bitume potrebbe diminuire

a causa delle elevate temperature che producono una diminuzione della viscosità del legante stesso.

La forma spigolosa degli inerti garantisce sempre una maggiore stabilità della miscela, garantendo una pseudo-coesione fra le particelle e conseguentemente un maggiore rapporto resistenza-modulo di deformazione e una minore deformabilità permanente, responsabile quest'ultima del frequente fenomeno dell'ormaiamento.

Si noti, però, che la spigolosità degli inerti aumenta notevolmente l'energia di costipamento necessaria per ottenere un prefissato indice dei vuoti, contrariamente a quanto avviene allorchè si impiegano materiali con spigoli arrotondati.

4. Tessitura

Per tessitura si intende la distribuzione spaziale dei differenti cristalli costituenti la roccia. Più le rocce hanno tessitura fine, tanto maggiore è la tendenza a frantumarsi generando elementi appiattiti.

5. Resistenza all'abradibilità.

Interessa gli aggregati costituenti lo strato superiore della pavimentazione (usura), a diretto contatto con il traffico, dove risulta necessario garantire la conservazione delle caratteristiche di aderenza della pavimentazione per un tempo relativamente lungo. Tali caratteristiche dipendono, fra l'altro, dalla microrugosità degli inerti e quindi dalla capacità di questi ultimi di conservare una certa scabrezza superficiale resistendo alle azioni del traffico veicolare.

6. Gelività ed alterabilità.

L'azione ripetuta del gelo è causa di disgregazione particolarmente per le rocce sedimentarie (calcari) e dipende dalla struttura del materiale, dalla presenza di fessure e dal contenuto d'acqua all'atto della formazione del ghiaccio.

Una valutazione della resistenza al gelo dell'aggregato può essere condotta determinando il coefficiente Los Angels sull'inerte prima e dopo averlo sottoposto a 25 cicli di gelo e disgelo.

7. Pulizia dei materiali.

Per pulizia si intende l'assenza polvere o sostanze minerali ed organiche sulla superficie degli aggregati soprattutto se è previsto l'impiego di leganti. Infatti, sebbene una certa frazione di fino sia desiderabile nelle miscele, si esige una pulizia totale degli inerti di dimensioni maggiori, al fine da un lato di controllare esattamente la percentuale di fino da utilizzare, dall'altro di evitare che tali polveri aderendo alla superficie degli elementi riducano l'azione coesiva del legante.

Per gli inerti grossi si effettuano prove di lavaggio (o decantazione), per le sabbie è utilizzata la prova dell'equivalente in sabbia (CNR b.u. n.27/72).

PRINCIPALI PROVE SUGLI AGGREGATI

Al fine di valutare la caratteristica ed i requisiti, precedentemente illustrati, che debbono avere gli aggregati utilizzati in campo stradale (mantenimento degli spigoli vivi, resistenza all'usura, all'urto, allo schiacciamento e alla frammentazione, pulizia), vengono generalmente effettuate le prove di seguito illustrate. Tali prove debbono essere effettuate su un campione rappresentativo della complessiva miscela che verrà posta in opera e, possibilmente, delle stesse pezzature; va posta, inoltre, l'attenzione sul fatto che, essendo gli inerti prodotti da materiali più o meno eterogenei, è facile che si possa incorrere in una diversificazione dei risultati delle prove.

Analisi granulometrica. Si effettua in maniera analoga a come si opera nelle analisi granulometriche delle terre al fine di determinare la distribuzione percentuale in peso dei grani secondo le loro dimensioni. La determinazione viene eseguita utilizzando crivelli con fori tondi per le frazioni di aggregati fino a 2 mm e setacci a maglie quadrate per le frazioni fini, di dimensione maggiori di 0.075 mm (in sede internazionale si utilizzano solo setacci)

Prova Los Angels. Si misura la modificazione della granulometria dovuta alla frantumazione degli inerti per effetto dell'attrito e dell'urto con delle sfere all'interno di un recipiente cilindrico ad asse orizzontale. Tale cilindro è dotato di un risalto sulla superficie interna ed è posto in rotazione cosicché sfere e particelle di aggregato oltre a rotolare vengono anche trascinate in alto simulando così un effetto d'urto.

La prova viene fatta sulla miscela granulometrica e la quantità di sfere e di materiale è commisurata alle pezzature introdotte, in maniera da cercare di ottenere per inerti della stessa natura risultati simili per tutte le combinazioni di pezzature.

Il coefficiente Los Angels è misurato dalla percentuale di frazione fina (<1.68 mm) prodottasi.

$$L. A. \% = \frac{P_1 - P_2}{P_1} * 100$$

dove

P_1 è il peso iniziale del campione

P_2 è il peso del trattenuto al setaccio da 1.68 mm dopo la prova

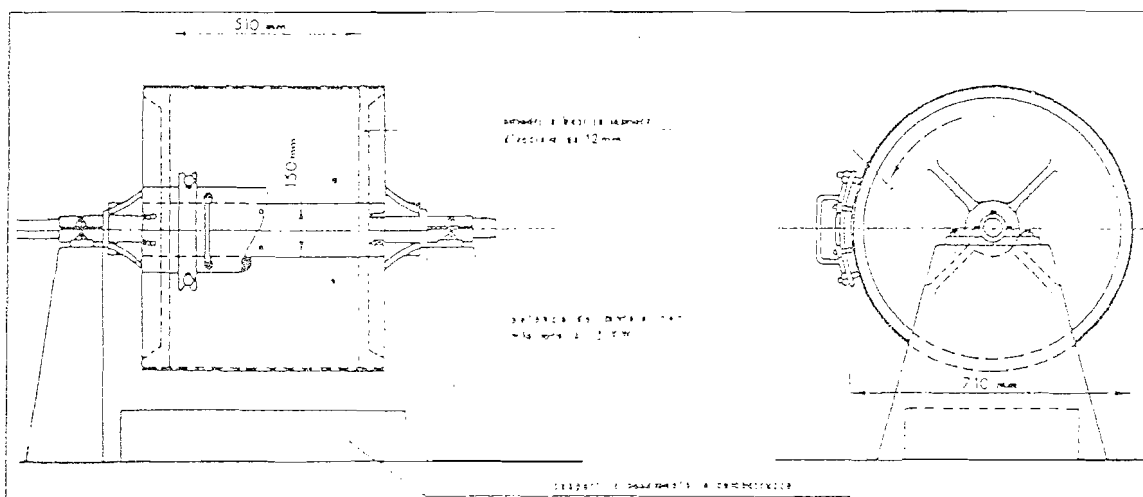


fig. 2 - Disegno schematico dell'apparecchio "Los Angeles"
(dal b.u. C.N.R., n° 34/1973)

Prova micro-Deval. Serve per determinare l'usura per attrito degli inerti di pezzatura inferiore al pietrischetto. Si fanno rotolare in un cilindro in rotazione attorno al proprio asse 500 g di materiale monogranulare, aggiungendovi delle sfere di acciaio di diametro 10 mm in quantità correlata alla pezzatura in esame. Il coefficiente micro-Deval è dato dalla percentuale di fino prodottasi durante la prova ed allontanata mediante setacciatura attraverso un setaccio da 2 mm.

$$\frac{M-m}{M} \times 100$$

dove:

M è la massa in g del materiale prima della prova

m è la massa in g del trattenuto al setaccio da 1.6 mm dopo la prova

Prova di perdita per decantazione. Serve per la determinazione della pulizia degli inerti (granulati e sabbie), caratteristica fondamentale come si è detto allorché gli inerti debbono essere utilizzati unitamente a leganti, sia idraulici che organici.

Si introduce in un recipiente cilindrico pulito il materiale da provare precedentemente essiccato e una quantità di acqua tale da sommergere interamente l'aggregato. Più volte si agita il contenuto del recipiente e si lascia riposare per un certo tempo, eliminando per decantazione l'acqua di lavaggio e fintanto che l'acqua di lavaggio non risulta limpida.

Il materiale così lavato viene essiccato a 110°C e pesato. La variazione di peso, espressa in percentuale del peso iniziale, rappresenta la perdita per decantazione

Prova di frantumazione dinamica. Viene effettuata su di una certa quantità di graniglia distesa su di una piastra di acciaio, in cui è realizzata una cavità per il contenimento dell'aggregato da provare. Su tale piastra viene fatta passare una ruota con cerchione di ferro, producendo così la frantumazione del materiale. Da una successiva stacciatura è possibile ottenere il coefficiente di frantumazione dinamica, ottenuto dalla somma delle frazioni passanti attraverso una serie prestabilita di setacci.

Prova dell'equivalente in sabbia. Si misura la quantità e la qualità del fino attraverso una prova di sedimentazione accelerata in una soluzione flocculante. Una quantità prefissata di inerte di dimensioni < di 5 mm viene introdotto in un cilindro trasparente graduato a fondo piano e in cui è contenuta tale soluzione flocculante. Si esegue così un'operazione di lavaggio e successivamente si mette a riposo il cilindro in maniera che gli inerti flocculati possano depositarsi sul fondo. Detta h_1 l'altezza della colonna di materiale sedimentato e h_2 l'altezza della colonna di materiale sedimentato e sospeso, l'equivalente in sabbia è dato da:

$$E.S. = \frac{h_1}{h_2} * 100$$

A valori più alti dell'equivalente in sabbia corrispondono inerti più puliti.

Massa volumica reale

E' definita come la massa di un volume unitario di aggregato, esclusi i pori esistenti all'interno dei granuli.

Massa volumica apparente

E' definita come la massa di un volume unitario di aggregato, inclusi i pori interni ai granuli non saturabili con acqua.

Indice dei vuoti

E' dato dal rapporto fra il volume dei vuoti dell'aggregato e il volume dell'aggregato stesso. Per gli strati di usura e di collegamento è prescritto un valore fra 0.80 e 0.85.

Limiti di Attemberg

Sono i valori di umidità di una terra che si assumono in maniera convenzionale al fine di caratterizzare il passaggio dallo stato liquido allo stato plastico (limite di liquidità w_L) e dallo stato plastico allo stato semisolido (limite di plasticità w_P).

Coefficiente di forma, di appiattimento e di allungamento; indice di forma e di appiattimento

Si assumono convenzionalmente come dimensioni caratteristiche dell'elemento lapideo:

- la *lunghezza* L , eguale alla massima distanza fra due piani paralleli tangenti all'elemento;
- lo *spessore* S , eguale alla minima distanza fra due piani paralleli tangenti all'elemento;
- la *larghezza* D , spesso indicata come diametro, eguale alla minima apertura del setaccio (a maglie quadrate) attraverso cui l'elemento passa.

Si definisce:

- coefficiente di forma $C_f = \frac{L}{S}$
- coefficiente di appiattimento $C_a = \frac{D}{S}$
- coefficiente di allungamento $C_l = \frac{L}{D}$

Essendo $C_l = C_f/C_a$ in generale è sufficiente fare riferimento sola a C_f e C_a .

Gli elementi sono considerati di forma non idonea quando $C_f > 3$ e/o $C_a > 1.58$.

Corrispondentemente si definisce per un insieme di grani un indice di forma I_f e un indice di appiattimento I_a sulla base della percentuale in massa di elementi di forma non idonea presenti in un campione dell'aggregato impiegato.

Coefficiente di imbibizione

E' definito come la quantità di acqua che l'aggregato può assorbire in condizioni di saturazione. A tal scopo il materiale viene introdotto in un apparecchio in cui viene creata una depressione al fine di facilitare la saturazione e successivamente viene fatta affluire acqua. Ristabilite le condizioni di pressione atmosferica il materiale viene lasciato immerso in acqua per un certo tempo. Il materiale così saturato viene allora pesato. Detta m_1 la massa dell'aggregato saturo e m_2 la massa dell'aggregato essiccato a circa 110°C, il coefficiente di imbibizione è dato da:

$$C_i = \frac{m_1 - m_2}{m_2} * 100$$

Idrofilia

E' intesa come l'affinità dell'inerte con l'acqua tale da spostare un preesistente rivestimento bituminoso, attraverso una prova di spogliamento. Viene considerata idrofila una pietra quando la perdita di bitume riscontrata in tale prova supera una certa percentuale del peso complessivo della miscela bituminosa a tal scopo confezionata e secondo procedura normalizzata.

ESAME PETROGRAFICO DEGLI AGGREGATI LAPIDEI

Una prima caratterizzazione e una valutazione indiretta delle caratteristiche meccaniche degli aggregati la si può ottenere da un esame petrografico sulla roccia madre da cui provengono gli aggregati. In primo luogo bisogna osservare che intrusioni micacee, scisti talcosi e argillosi, cristalli di calcite e feldespato sono tutti elementi la cui presenza è indice di bassa resistenza a compressione. Le rocce scistose stratificate o fragili inoltre danno luogo ad aggregati di forma non poliedrica.

In generale bisogna osservare come la presenza di grani alterati nella roccia di provenienza dell'aggregato comporti delle diminuzioni delle resistenze meccaniche in tutte le pezzature dell'aggregato.

Nei graniti e nei gneiss la resistenza diminuisce sensibilmente al diminuire delle dimensioni degli elementi. Ad esempio la graniglia di granito è scarsamente utilizzabile, anche se la roccia d'origine ha una buona resistenza a compressione.

Aggregati ricchi di elementi quarzifici resistono bene a compressione, ma poco all'urto; è necessaria particolare cautela nel loro impiego negli strati superficiali della pavimentazione, soprattutto nella fase di costipamento, utilizzando ad esempio rulli gommati invece che a superficie metallica. Elementi ricchi di quarzo e di feldespato possono essere ricoperti bene da bitume solo ricorrendo a particolari accorgimenti; caratteristica opposta vale per le rocce carbonatiche (calcari, dolomie) o per le rocce silicatiche scure (anfiboliti, basalto, leuciti). Viceversa i calcari trovano scarsa utilizzazione negli strati superficiali, perché troppo usurabili, mentre se ne fa un largo uso negli strati inferiori. In tab. 2 sono fornite le percentuali dei diversi tipi di roccia presenti come aggregati nei vari strati delle pavimentazioni stradali.

tipi di roccia	strati della sovrastruttura	
	usura	base e fondazioni
rocce eruttive	50	12.5
rocce metamorfiche	28	14
calcari	2	25
alluvioni calcaree	0	3.8
alluvioni silico-calcaree	8	23
alluvioni silicee	12	21.7
	100	100

tab. 2 - Percentuali dei diversi tipi di roccia presenti come aggregati nei vari strati delle pavimentazioni stradali

PRESCRIZIONI PER I CONGLOMERATI BITUMINOSI A CALDO (BASE, BINDER, USURA)

Gli inerti debbono essere di forma spigolosa e poliedrica, ovvero non dovranno mai essere di forma appiattita, allungata o lenticolare, preferendosi per tale ragione gli inerti provenienti interamente da frantumazione. Dovranno essere sani, duri, puliti, esenti da polveri e materiali estranei, secondo quanto prescritto dalle norme C.N.R. fasc. IV/1953.

La miscela sarà costituita da aggregati grossi, fini ed eventualmente additivi (filler), così come prescritto dalle già citate norme del C.N.R.

Nei riguardi della resistenza a fatica bisogna ottenere miscele di elevata compattezza, curando l'assortimento granulometrico.

Nel presente paragrafo si riportano le principali prescrizioni in uso nel nostro paese.

AGGREGATO GROSSO

L'aggregato grosso potrà essere costituito da ghiaie, ghiaie frantumate, pietrischetti e graniglie di diversa provenienza petrografica, purché rispondente ai requisiti di seguito prescritti:

Strato di base

La miscela dovrà essere costituita da ghiaia frantumata in percentuale superiore al 50 % in peso (30 % per l'ANAS). La perdita in peso alla prova Los Angels eseguita sulle singole pezzature secondo le norme (b.u. C.N.R. n°34/1973) dovrà essere inferiore al 25%.

Strato di collegamento

Per tale strato possono essere impiegate graniglie provenienti da frantumazione di ghiaie. La perdita in peso alla prova Los Angels eseguita sulle singole pezzature deve essere compreso tra il 25 ed il 40 %.

Il coefficiente di imbibizione (. fasc. IV/1953 CNR/UNI) deve essere inferiore a 0.015.

Strato di usura

La miscela dovrà essere realizzata con inerti provenienti esclusivamente da frantumazione. Almeno il 10% di essi dovrà contenere, nella frazione più grossa, inerti di natura basaltica (C.N.R. b.u. n° 104/1984).

Nelle zone ove tali inerti non siano presenti è possibile utilizzare altri materiali lapidei, a condizione di una loro integrazione con inerti porosi naturali (materiali Vesuviani) o artificiali (argilla espansa, scorie d'altoforno, loppe, ...) ad elevata

rugosità superficiale. In ogni caso è necessario valutare il risultato finale con apparecchiature ad alto rendimento.

AGGREGATO FINO

Per tutte le miscele si potranno usare come aggregato fino sia sabbie di frantumazione che naturali di fiume. Comunque la percentuale delle prime non dovrà essere mai inferiore del 50% (b.u. CNR 139/92).

La qualità delle rocce e degli elementi litoidi di fiume da cui è ricavata per frantumazione la sabbia dovrà essere valutata con una prova Los Angels su un granulato della stessa provenienza; la perdita in peso dovrà essere inferiore al 25%.

L'equivalente in sabbia (C.N.R. b.u. n° 27/1972) dovrà essere superiore o uguale al 40% ÷ 80% CNR b.u. 139/92 ($\geq 70\%$ Autostrade, $\geq 55\%$ ANAS)

ADDITIVI (FILLER)

Gli additivi dovranno provenire, preferibilmente, dalla macinazione di rocce calcaree o dovranno essere costituiti da cemento, calce idrata, calce idraulica, polvere di asfalto, ceneri volanti. Essi dovranno rispondere ai seguenti requisiti:

- prova C.N.R. b.u. n° 23/71

SETACCIO ASTM	passante in peso a secco %
30	100
100	90
200	65÷80

- della quantità di additivo minerale passante per via umida al setaccio n° 200, più del 50 % deve passare a tale setaccio anche a secco
- nel caso di impiego di ceneri volanti esse dovranno superare il 40% del passante al setaccio ASTM n° 200.