

SITEBSi srl

Rassegna del bitume

RIVISTA DEL SITEB-ASSOCIAZIONE ITALIANA BITUME ASFALTO STRADE

ESTRATTO DAL N° **10/88**

**Sul Calcolo della coesione dei conglomerati bituminosi "drenanti"
mediante il percorso delle tensioni - Parte Seconda : La sperimentazione**

Umberto Bonvino

Università di Bari, Dipartimento di Vie e Trasporti.

Sul calcolo della coesione dei conglomerati bituminosi "drenanti" mediante il percorso delle tensioni

PARTE SECONDA: La sperimentazione

Umberto Bonvino**

PREMESSA

Nella parte prima della presente ricerca si è descritta una procedura che, applicata alla numerosa sperimentazione approntata, è in grado di determinare, con ottima approssimazione, i valori numerici della coesione e dell'angolo d'attrito interno di un conglomerato bituminoso ad alta permeabilità.

Essa, estendibile, anche a materiali diversi da quelli impiegati nelle pavimentazioni stradali di tipo flessibile², si avvale di un classico apparecchio triassiale e di un programma di calcolo in linguaggio Basic, all'uopo predisposto.

E noto che un fenomeno fisico può essere studiato attraverso la raccolta di dati che esprimono la relazione esistente tra due o più variabili di cui il fenomeno è funzione. D'altra parte, per varie ragioni, che vanno dalla necessità di rappresentare i dati sperimentali in maniera sintetica, e ciò per una loro successiva elaborazione, alla opportunità di effettuare eventuali operazioni di derivazione, di integrazione e di interpolazione, risulta conveniente esprimere in forma analitica il legame che intercorre tra le variabili trattate.

Pertanto, dopo la raccolta dei dati provenienti dalle numerose prove triassiali effettuate, si è ricercata l'equazione matematica atta a rappresentare il predetto legame.

Poiché le variabili interessate sono due:

- pressione di cella σ_3
- pressione di rottura σ_1

l'individuazione del legame matematico ha permesso di correlare, tramite una curva di regressione, la variabile dipendente σ_1 per ogni valore di quella indipendente σ_3 anche se esse sono state trasformate nelle variabili¹:

$$\eta = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} \quad (1)$$

$$\xi = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \quad (2)$$

* Ricerca finanziata con contributo C.N.R. n. 1795/85.

** Università degli Studi di Bari - Dipartimento di Vie e Trasporti.

Tab. I. Analisi sperimentale.

REGRESSIONE	EQUAZIONE
Lineare	$\xi = 3,265 + 0,414 \cdot \eta$
Geometrica	$\xi = 2,13 \cdot \sqrt{\eta}$
Parabolica	$\xi = -1,506 + 1,693 \cdot \eta - 0,079 \cdot \eta^2$
Esponenziale	$\xi = 3,756 \cdot 1,07^\eta$

La Tabella I riporta le equazioni di alcune delle curve di regressione ottenute i cui coefficienti di correlazione sono risultati assai prossimi all'unità; la Figura 1 visualizza, nel piano $\eta \cdot \xi$, i grafici corrispondenti.

Tuttavia, al solo fine di individuare la curva che, più delle altre, meglio si approssima alla sperimentazione, si sono ricercati — attraverso ragionamenti di tipo fisico matematico — i limiti di coerenza e di validità di ciascuna di esse.

A) Nell'intervallo definito dal campo II (tratto PQ nel quale: $0,2 \text{ daN/cm}^2 \leq \sigma_3 < 2,0 \text{ daN/cm}^2$), solo le curve di regressione lineare, geometrica ed esponenziale risultano pressoché coincidenti discostandosi, quindi, da quella parabolica (Fig. 1).

Questa prima osservazione, almeno per più alti valori della pressione laterale, fa ritenere poco adatta la curva di regressione parabolica che, tra l'altro, per valori di η prossimi allo zero, fornirebbe $\xi \leq 0$ e, quindi, anche $\sigma_1 \leq \sigma_3$, ovvero una tensione di rottura inferiore a quella di cella.

B) La parabola rivolge la concavità verso il basso significando che in corrispondenza di un prefissato valore positivo di ξ scaturiscono due distinti valori di η . Anche questo, da un punto di vista fisico, è assurdo.

C) La curva di regressione geometrica, ma solo nel tratto che va dall'origine fin nell'intorno del punto P (campo I della Figura 1), a cui corrisponde una pressione di cella compresa nell'intervallo $0 \div 0,2 \text{ daN/cm}^2$ circa, non risulta adatta a rappresentare la sperimentazione eseguita poiché, in corrispondenza dell'origine del sistema di assi cartesiani, è $\eta = \xi = 0$, ovvero: $\sigma_1 = \sigma_3 = 0$.

Tuttavia, nel campo II, la curva di regressione geometrica, quasi rettilinea nel tratto PQ, appare migliore delle altre due curve esaminate: la lineare e l'esponenziale.

Queste ultime, infatti, se utilizzate attraverso il metodo delle tensioni e con pressioni laterali $\sigma_3 < 2 \text{ daN/cm}^2$, forniscono — per il conglomerato bituminoso in esame — valori della coesione e dell'angolo d'attrito interno leggermente discosti rispetto a quelli ottenuti impiegando, invece, la curva geometrica la quale si presenta più aderente alle risultanze emerse utilizzando, attraverso comuni prove di com-

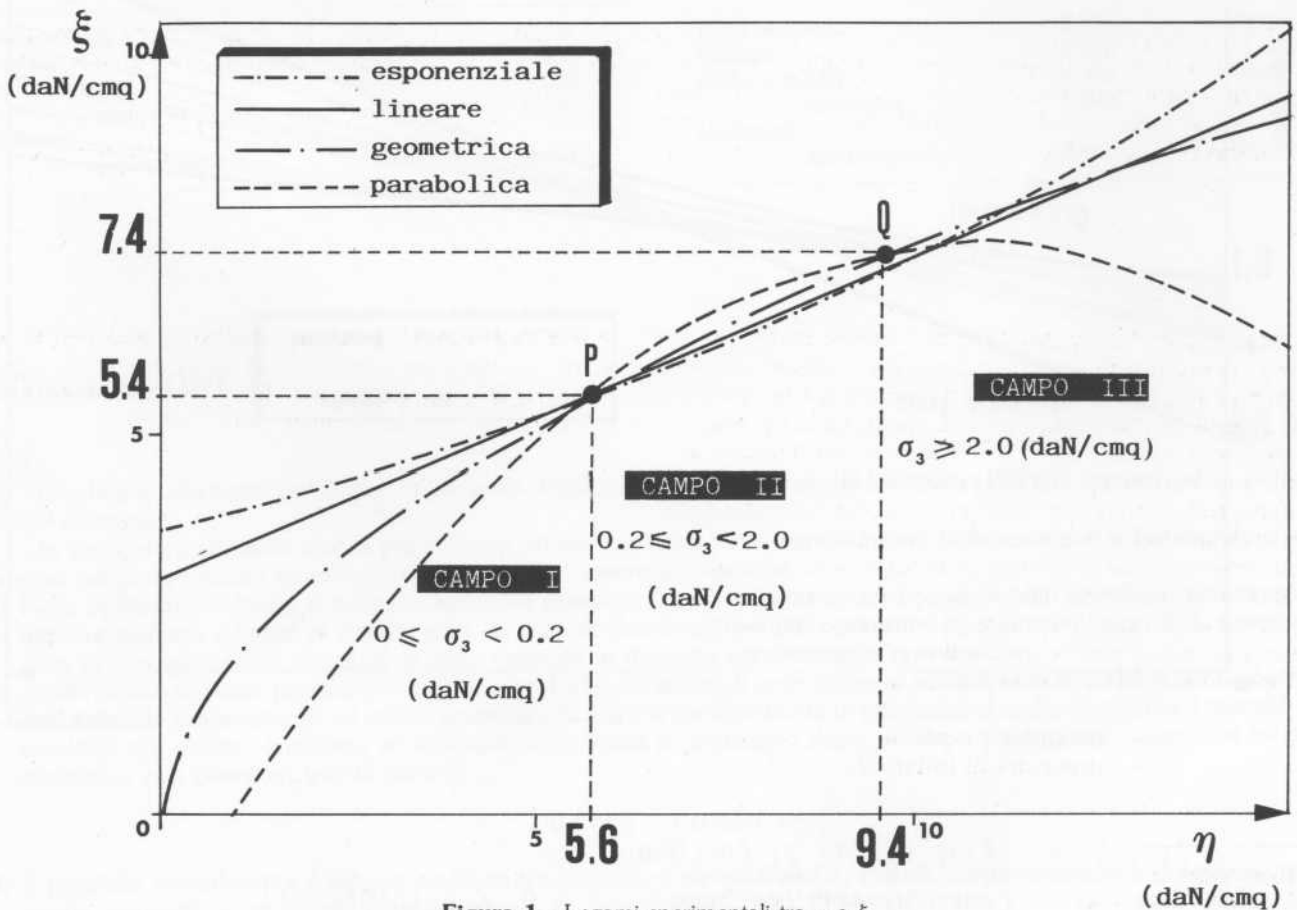


Figura 1 - Legami sperimentali tra η e ξ

pressione ad espansione laterale libera e di trazione indiretta, alcune classiche procedure quali, ad esempio, quella del Coulomb e del paraboloide di rivoluzione^{3,4}.

La Tabella II riporta i valori numerici delle ricercate caratteristiche meccaniche del conglomerato drenante ottenuti impiegando l'apparecchio triassiale con pressioni di cella pari a: $\sigma_3 = 0 \cdot 0,5 \cdot 1,0$ daN/cm² e ciò allo scopo di rimanere sufficientemente lontani dall'intorno del punto Q delimitante il confine tra i campi II e III della Figura 1.

La medesima Tabella riporta, infine, per eventuali confronti, i valori dell'angolo d'attrito interno e della coesione ottenuti utilizzando, attraverso l'analisi di regressione, il metodo delle tensioni, nonché quelli dedotti, invece, dalla più nota procedura del Coulomb e dalla teoria del paraboloide.

La curva geometrica, utilizzata in maniera opportuna attraverso l'eliminazione del tratto iniziale, privo di significato, fornisce, quindi, valori dell'angolo d'attrito interno poco discosti da quelli ottenuti applicando, ad esempio, la nota bilatera del Coulomb; in tal caso la variazione è del 4,9%

Inferiore appare anche lo scostamento del valore della coesione: circa 4,6% rispetto, però, ai risultati dedotti dall'applicazione della teoria del paraboloide; qualora, invece, ci si riferisca a quelli ottenuti dalla bilatera, lo scostamento in questione risulta più elevato: circa 13,3%.

Tab. II. $\sigma_3 = 0,0,5,1,0$ daN/cm²

		Angolo d'attrito interno gradi	Coesione daN/cm ²
R E G R E S S I O N E	Lineare	23,6	3,60
	Esponenziale	19,0	3,97
	Geometrica	30,1	3,40
T E O R I E	Mohr. Coulomb	28,7	3,00
	Paraboloide	***	3,25

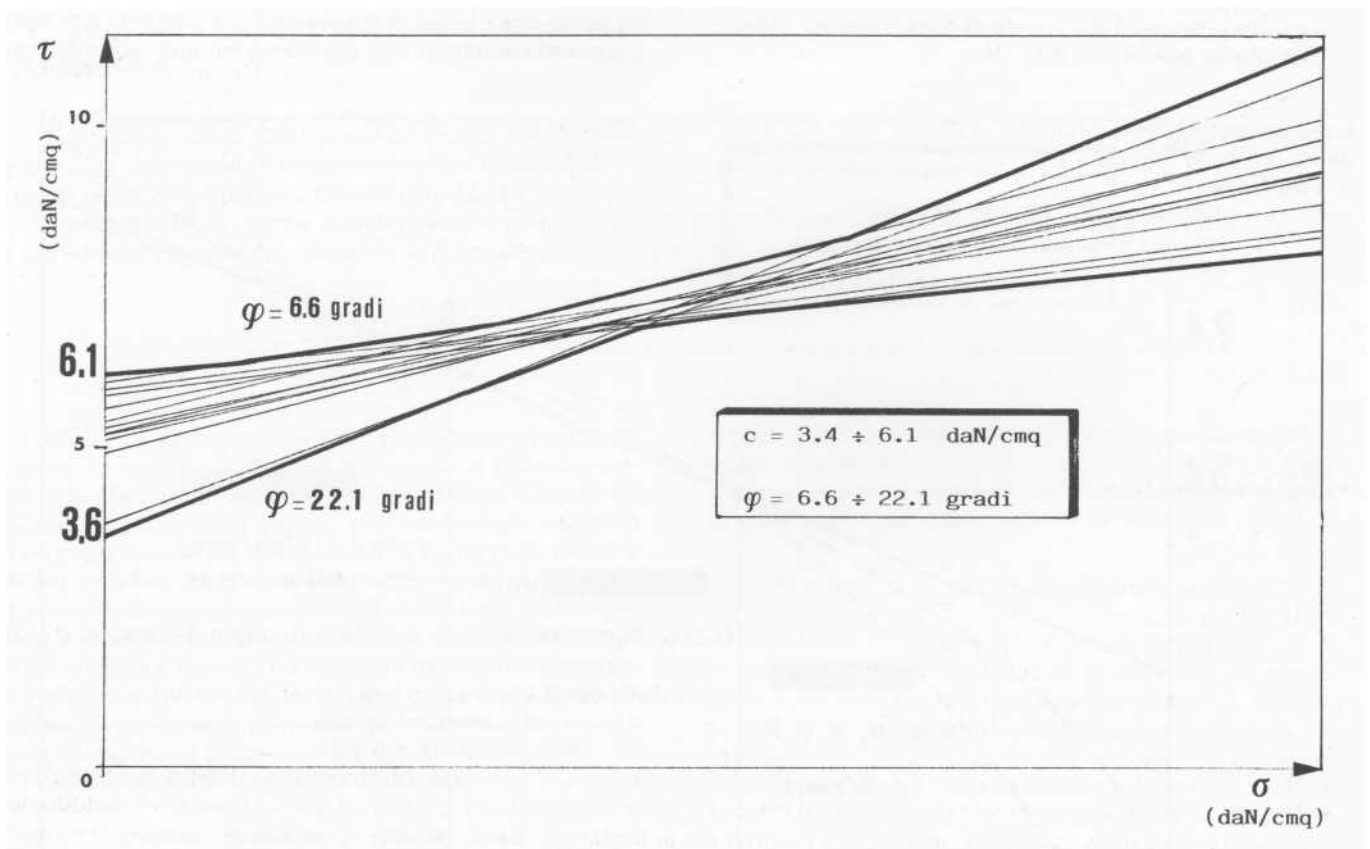


FIG. 2 - RETTE LIMITI DI COULOMB
CAMPO DI APPLICAZIONE : $2 \leq \sigma_3 \leq 4$ (DAN/CMQ)

D) Si evidenzia, infine, che l'utilizzo della procedura Mohr - Coulomb oltre il campo II, cioè in corrispondenza di pressioni di cella ≥ 2 daN/cm², genera valori dispersi delle ricercate caratteristiche meccaniche.

La Figura 2, infatti, mostra alcune delle rette di Coulomb disegnate tracciando le tangenti ai cerchi di Mohr, questi ultimi ottenuti con pressioni di cella comprese tra i 2 ed i 4 daN/cm² (campo III della Fig. 1). Si evince, facilmente, la notevole "dispersione" delle classiche rette di rottura confermata, del resto, anche dai parametri statistici della Tabella III.

Soprattutto sull'angolo d'attrito interno, la varianza risulta elevata e maggiore (circa sei volte) di quella corrispondente all'altra caratteristica meccanica, la coesione, e ciò in perfetto accordo con precedenti studi compiuti, però, sui tappetini d'usura impermeabili³.

A conferma della importanza che assume la pressione di cella sui valori delle caratteristiche meccaniche del mantto drenante, si è continuata la sperimentazione utilizzando, al solito, l'apparecchio triassiale, ma, questa volta, con basse pressioni di cella (campi I e II della Figura 1); allora il dominio delle rette limiti del Coulomb si restringe fornendo non solamente valori della coesione e dell'angolo d'attrito

interno meno dispersi (Tab. IV), ma anche in linea con quelli ottenuti attraverso più complesse teorie⁴.

L'analisi delle Tabelle III e IV consente, pertanto, di affermare quanto segue:

- le risultanze numeriche emerse dalla sperimentazione sui manti drenanti, ma con basse pressioni di cella (< 2 daN/cm²), risultano pressoché coincidenti con quelle ottenute utilizzando, invece, altre procedure;
- qualunque sia il campo delle pressioni di cella la varianza relativa alla coesione risulta, sempre, inferiore e di molto a quella dell'angolo d'attrito interno;
- nell'ambito della procedura Mohr-Coulomb, l'utilizzo di basse pressioni di cella comporta una minore dispersione dei risultati sperimentali. La varianza, infatti, praticamente si dimezza per pressioni di cella < 2 daN/cm²;
- di notevole importanza, infine, appare la considerazione che all'aumentare della pressione di cella si ottengono più bassi valori dell'angolo d'attrito interno, in perfetto accordo con quanto emerso da alcune ricerche condotte da Druker e Prager su materiali, però, diversi dai conglomerati bituminosi drenanti⁵.

Tab. III. Procedura Mohr-Coulomb ($\sigma_3 \geq 2$ daN/cm²)

Parametri statistici	Coesione (daN/cm ²)	Attrito I. (gradi)
media aritmetica	5,221	12,214
varianza	0,714	4,350
scarto q. medio	0,845	2,086
asimmetria	-1,069	0,796
coefficienti		
appiattimento	3,378	3,104

Tab. IV. Procedura Mohr-Coulomb ($0 \leq \sigma_3 < 2$ daN/cm²)

Parametri statistici	Coesione (daN/cm ²)	Attrito I. (gradi)
media aritmetica	2,996	28,720
varianza	0,295	2,424
scarto q. medio	0,543	1,557
asimmetria	0,692	-0,830
coefficienti		
appiattimento	2,066	2,144

CONCLUSIONI

L'indagine effettuata conferma, in generale, quanto già emerso sui manti bituminosi del tipo impermeabile sottoposti al test triassiale³.

In particolare si ritiene che la più corretta procedura volta alla determinazione della coesione e dell'angolo d'attrito interno dei conglomerati bituminosi drenanti debba essere la seguente.

- Nelle prove triassiali non si possono applicare pressioni di cella arbitrarie; per i conglomerati bituminosi esaminati esse devono risultare inferiori ai 2 daN/cm². In caso contrario appare più opportuno specificare i valori delle pressioni di cella in corrispondenza dei quali si sono ottenute le ricercate caratteristiche meccaniche.
- Solo l'utilizzo di basse pressioni di cella (campi I e II) consente di approssimare ad una retta la classica curva intrinseca del materiale esaminato; in tal caso è possibile calcolare le caratteristiche di resistenza al taglio attraverso il metodo delle tensioni¹ che utilizza, mediante un semplice programma in linguaggio Basic, all'uopo predisposto, solamente tre prove triassiali e con pressioni laterali distinte:

$$0 * 0,5 * 1,0 \text{ daN/cm}^2$$

- È possibile approfondire il legame analitico tra le tensioni deviatoriche e, quindi, scegliere la curva di regressione più adatta, probabilmente di tipo geometrico.

- 4) Tracciamento nel piano $\eta \cdot \xi$ del segmento di retta ottenuto prolungato il tratto, quasi lineare, della curva di regressione geometrica fino ad incontrare l'asse delle ordinate.
- 5) Calcolo della tangente dell'angolo ϕ' che il segmento di retta (di cui al punto precedente) forma con l'asse delle ascisse, nonché della corrispondente intercetta c' posta sull'asse delle ordinate.
- 6) Infine, determinazione dei più probabili valori dell'angolo d'attrito interno e della coesione tramite le sottoelencate equazioni (riportate, al solito, nella prima parte della ricerca):

$$\phi = \arcsen(\operatorname{tg} \phi') \quad (3)$$

$$c = \frac{c'}{\cos \phi} \quad (4)$$

Il rispetto delle citate prescrizioni consente, quindi, di individuare il più corretto valore della coesione; permangono, invece, rilevanti le dispersioni sui valori sperimentali dell'angolo d'attrito interno, anche **se esse** risultano inferiori rispetto all'utilizzo della classica bilatera. Il rapporto tra le corrispondenti varianze, infatti, è di circa 1:2. Più precisamente (Tab. III e IV), esso è pari a:

$$2,424 / 4,350 = 0,557$$

Quest'ultima considerazione è confermata anche dalla sperimentazione approntata per i manti impermeabili i quali presentano, e forse non a caso, quasi lo stesso rapporto³:

$$5,937 / 11,404 = 0,521$$

BIBLIOGRAFIA

- 1) U. BONVINO *Sul calcolo della coesione dei conglomerati bituminosi "drenanti" mediante il percorso delle tensioni. Parte prima: la procedura.* In corso di pubblicazione.
- 2) C. CESTELLI GUIDI *Geotecnica e tecnica delle fondazioni.* Vol. I e II. Hoepli, Milano 1972.
- 3) U. BONVINO *La definizione della coesione e dell'attrito dei conglomerati bituminosi e suoi limiti.* Rivista "Le Strade", Maggio 1988.
- 4) U. BONVINO *La coesione dei conglomerati bituminosi "aperti" e la teoria del paraboloide di rivoluzione.* Rivista "Le Strade", Ottobre 1988.
- 5) G. GIODA. *Meccanica delle rocce.* Clup, Milano 1981.