

Norma per la determinazione delle proprietà a taglio di interfacce bituminose

Felice A. Santagata Università di Ancona
Ezio Santagata Politecnico di Torino
Francesco Canestrari Università di Ancona

SOMMARIO

L'aumento del peso, della velocità e del numero dei veicoli transitanti sulle strade comporta lo sviluppo di sollecitazioni nelle pavimentazioni di entità tale da giustificare uno studio accurato da un punto di vista strutturale. A tale scopo è possibile fare ricorso alle moderne tecniche di calcolo numerico le quali consentono di predisporre un modello teorico in grado di rappresentare razionalmente il comportamento meccanico della sovrastruttura stradale e, conseguentemente, di determinare la corretta distribuzione dello stato tenso-deformativo.

Tuttavia, affinché il modello adottato rappresenti in modo fedele la pavimentazione in sito occorre che siano noti i legami costitutivi dei materiali impiegati e le effettive condizioni al contorno del problema esaminato.

Uno degli argomenti non ancora risolti in questa ottica riguarda la definizione delle reali caratteristiche fisico meccaniche all'interfaccia tra gli strati di conglomerato bituminoso che compongono il pacchetto della sovrastruttura. Infatti, nel progetto di una pavimentazione stradale ci si affida prevalentemente all'esperienza per sopperire alle scarse conoscenze in materia, attribuendo all'interfaccia caratteristiche meccaniche non rispondenti alle condizioni reali.

Allo scopo di definire analiticamente il legame costitutivo relativo alla superficie di contatto tra due strati di conglomerato bituminoso, è importante studiarne il comportamento a taglio in quanto, secondo studi sperimentali e teorici [1], essa condiziona il trasferimento in profondità dei carichi superficiali nella pavimentazione; d'altra parte si deve considerare che la corretta conoscenza dello stato tensionale risulta fondamentale per la previsione del comportamento a fatica delle pavimentazioni stradali, per il quale risulta critica la max tensione di trazione [2].

Allo stato attuale non esiste uno studio che affronti in maniera razionale l'argomento e che analizzi l'influenza di tutti i parametri chiamati in gioco durante la vita dell'opera (strutturali ed ambientali) sul comportamento meccanico delle interfacce per pavimentazioni multistrato.

Per poter soddisfare tali esigenze, è stata progettata e realizzata, nell'ambito del programma di ricerca ASTRA (Ancona Shear Testing Research and Analysis) [3], una apparecchiatura in grado di eseguire prove di taglio su sistemi bituminosi bistrato; rispetto alla versione originale, il presente lavoro introduce dei miglioramenti finalizzati alla definizione di una nuova metodologia di prova standardizzata, per la caratterizzazione delle proprietà a taglio delle interfacce nei sistemi bituminosi multistrato.

In particolare la principale innovazione introdotta consiste nella possibilità di eseguire prove a temperatura ($-20 \div 60$ °C) ed umidità relativa controllate sulla base dell'utilizzo di una camera climatica appositamente realizzata.

Inoltre, nella presentazione del documento appresso riportato sono forniti tutti i dettagli riguardanti le specifiche necessarie per la preparazione dei campioni e l'esecuzione della prova, fornendo gli schemi costruttivi delle apparecchiature utilizzate a tal fine.

1 Scopo della norma

- 1.1 La metodologia di prova descrive le procedure per valutare la resistenza a taglio delle interfacce nei sistemi bituminosi multistrato.
- 1.2 La prova consente di determinare il valore di picco della resistenza a taglio, associato ad una componente di sforzo normale prefissata; mediante la ripetizione della procedura per differenti stati tensionali risulta possibile individuare l'involuppo di resistenza delle interfacce nel piano di Mohr (σ - τ).
- 1.3 Tutte le grandezze valutate in condizioni standard, riportate nella presente norma, sono espresse in unità del sistema internazionale (SI).

2 Importanza e uso

- 2.1 La procedura di prova descritta nella presente norma, permette di caratterizzare il comportamento tenso-deformativo delle interfacce nei sistemi bituminosi multistrato; in particolare la prova di taglio diretto ASTRA consente di:
 - 2.1.1 valutare il modulo di reazione orizzontale K ($\tau=K\delta$) da introdurre nel modello teorico per la progettazione degli spessori degli strati delle pavimentazioni flessibili;
 - 2.1.2 individuare il quantitativo ottimale di emulsione bituminosa da impiegare come mano d'attacco eseguendo un minimo di sei prove nella medesima configurazione, variando il dosaggio di emulsione nel range 3÷8 g/dm² con incrementi di 1 g/dm²;
 - 2.1.3 controllare il comportamento a taglio degli strati di una pavimentazione esistente, su tasselli estratti da carote prelevate in opera, simulando la stesa di un nuovo strato in laboratorio, con o senza interposizione di mano d'attacco;
 - 2.1.4 prevedere il comportamento a taglio dell'interfaccia fra una pavimentazione esistente e lo strato di rinforzo in conglomerato bituminoso steso superiormente;
 - 2.1.5 verificare il lavoro eseguito in opera relativo alla stesa di strati legati con mano d'attacco, operando su tasselli estratti da carote prelevate in situ sulla nuova pavimentazione.

3 Sommario del metodo di prova

- 3.1 Preparazione di un provino bistrato dotato di una zona non confinata in corrispondenza dell'interfaccia, in modo da consentire la misurazione della reale resistenza a taglio del materiale (Fig. 6).

- 3.2 La metodologia di prova consiste nei seguenti punti:
- a) posizionamento del provino nella scatola di taglio diretto;
 - b) applicazione di una tensione normale prefissata;
 - c) imposizione di uno scorrimento relativo tra le semiscatole con velocità media di avanzamento costante, in modo tale da applicare uno sforzo di taglio all'interfaccia.
- 3.3 La prova è eseguita assumendo un minimo di due differenti tensioni normali in modo da rappresentare le reali condizioni di sollecitazione riscontrabili nella pavimentazione in opera.
- 3.4 Le tensioni tangenziali sono rappresentate in funzione delle tensioni normali applicate durante la prova, consentendo di individuare due coppie di valori caratteristici, rappresentative delle condizioni di picco $(\sigma-\tau)_p$ e di stato critico $(\sigma-\tau)_{sc}$.
- 3.5 La prova prevede un minimo di due ripetizioni nella medesima configurazione, dalle quali possono essere ottenuti i risultati, definitivi attraverso la media dei valori.

4 Apparecchiatura

L'apparecchiatura ASTRA comprende le seguenti parti principali:

- ♦ accessori per la preparazione dei provini
- ♦ scatola di taglio diretto
- ♦ sistema di applicazione dei carichi
- ♦ sistema di rilevamento dati
- ♦ camera climatica

Tutti gli elementi descritti di seguito si intendono realizzati in acciaio, salvo diversa specificazione.

4.1 Accessori per la preparazione dei provini (Fig. 4.1)

- 4.1.1 *Basamento inferiore* - Ricavato da una piastra avente dimensioni 200×130×12 mm dotata di cinque piedi rimovibili, di altezza pari a 30 mm, posizionati ai vertici (n° 4) e al centro del basamento.
- 4.1.2 *Sistema per la formazione della zona non confinata* - Costituito da quattro elementi assemblati ad incastro che delimitano una cavità prismatica delle dimensioni di 100×100×9.2 mm, predisposta ad accogliere superiormente la semiscatola di taglio ad essa coassiale grazie alla presenza di elementi di fissaggio sagomati ad L.
- 4.1.3 *Lamine* - Sistema di lamine quadrate, con dimensioni 100×100 mm e spessori variabili (1;1.2;2;2.2) che permettono di modificare l'altezza della cavità prismatica.

4.1.4 *Cintura scomponibile* – Serie di elementi di altezza variabile per la formazione della zona non confinata perimetrale all’interfaccia del provino.

4.1.5 *Collare* - Elemento prismatico atto ad accogliere il conglomerato bituminoso soffice, preparato per la preconsolidazione del provino.

4.1.6 *Tappo isovolumetrico* - Elemento prismatico con dente di altezza utile pari a 10 mm, dotato di battuta che permette, nella fase di compattazione del provino, di raggiungere un volume finale noto.

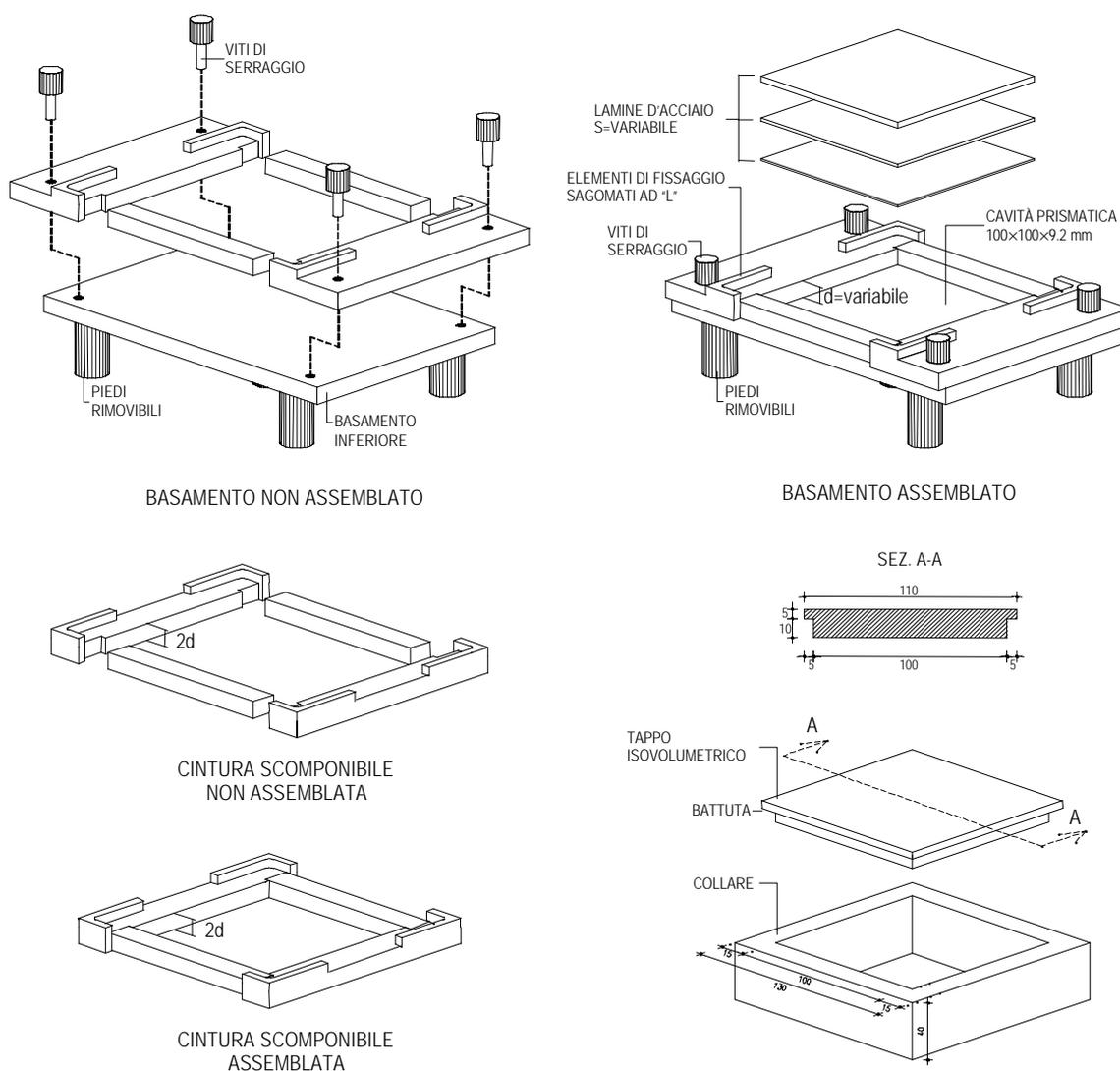


Fig. 4.1 – ACCESSORI PER LA PREPARAZIONE DEI PROVINI –

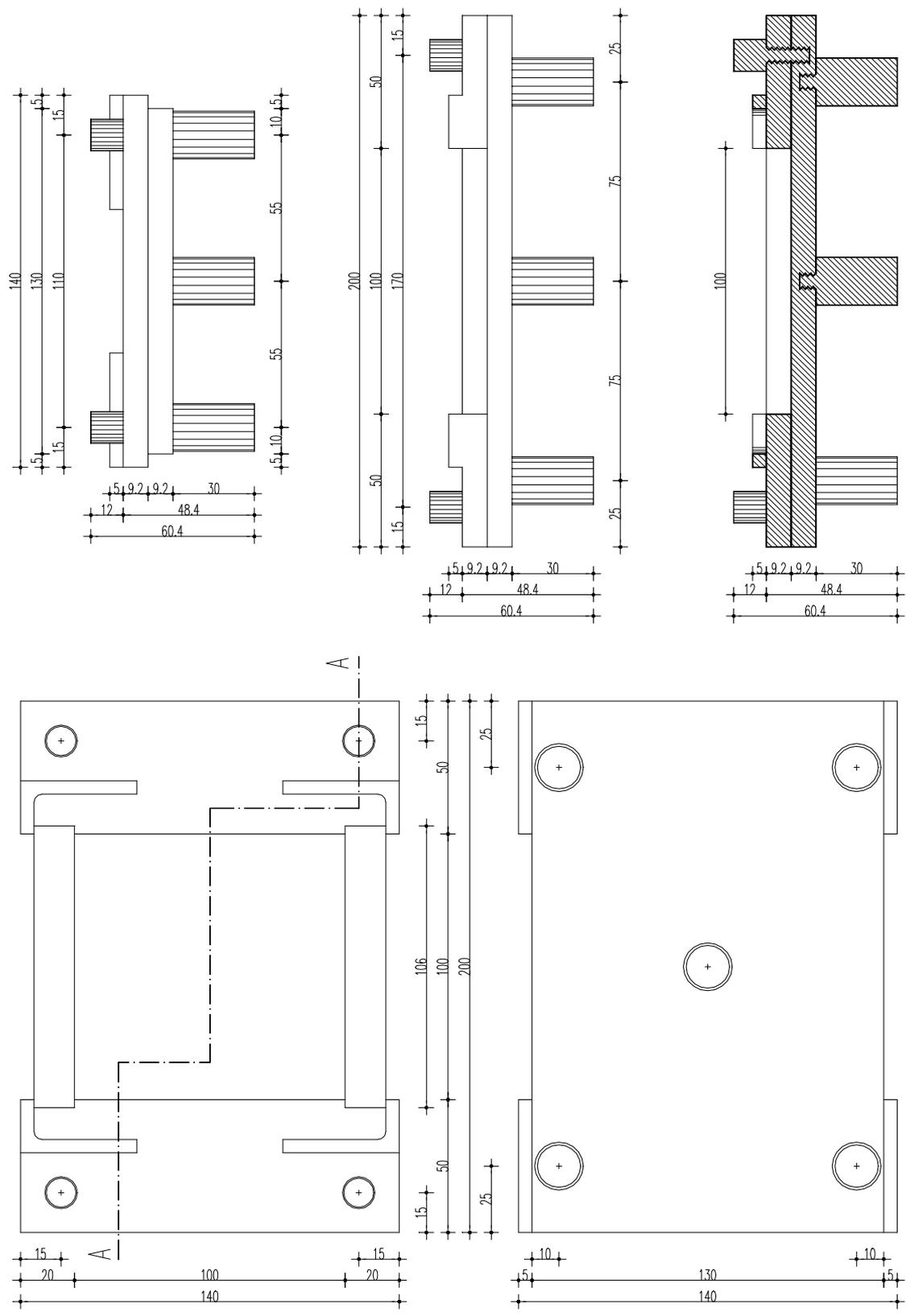


Fig. 4.2 – DETTAGLIO DI PROGETTO DEL BASAMENTO: PIANTA, PROSPETTI E SEZIONE A-A –

4.2 Scatola di taglio diretto

Uno schema della scatola di taglio diretto, contenente il provino con le relative parti, è riportato in Fig. 4.3.

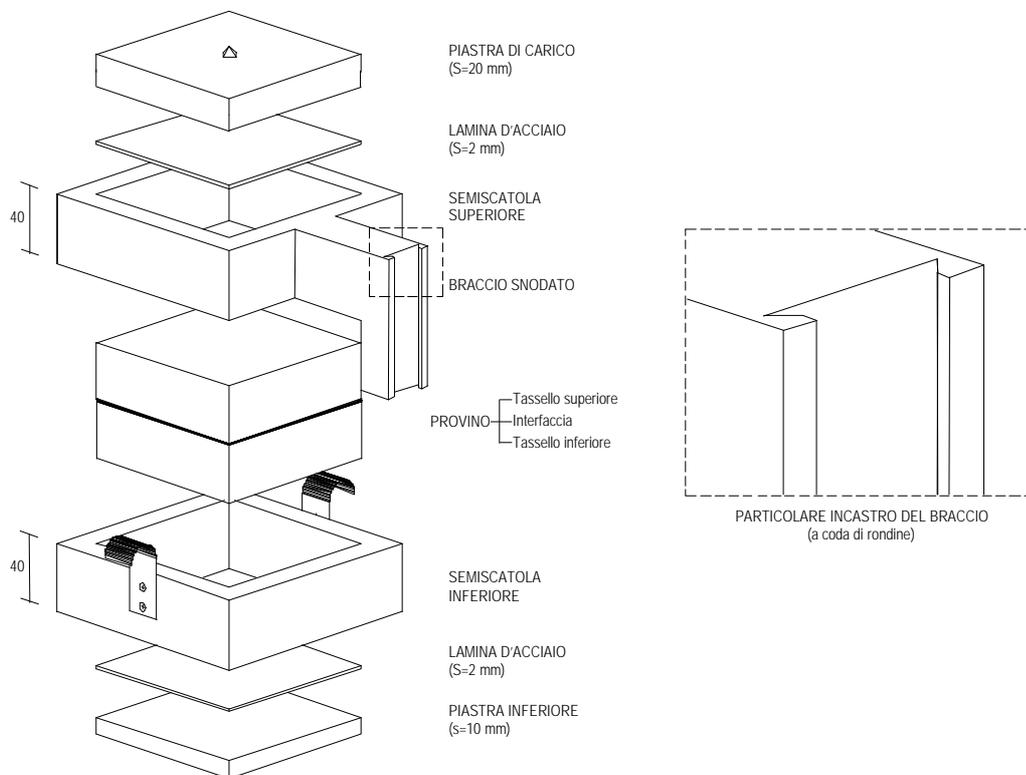


Fig. 4.3 – SCATOLA DI TAGLIO DIRETTO –

Essa comprende:

- 4.2.1 *semiscatola inferiore* – Elemento prismatico cavo a pianta quadrata con dimensioni interne pari a $100 \times 100 \times 40$ mm. È alloggiata in un recipiente mobile disposto in modo che il movimento avvenga in una sola direzione, parallela a quella della forza di taglio applicata;
- 4.2.2 *lamine d'acciaio* aventi dimensioni $100 \times 100 \times 2$ mm;
- 4.2.3 *semiscatola superiore* - Analoga alla precedente e fornita di un braccio rigido snodato, per il trasferimento del carico orizzontale; il braccio è dotato di un incastro a coda di rondine, scorrevole lungo il piano verticale, per consentire la variazione dell'altezza della zona non confinata;
- 4.2.4 *piastra di carico* – Elemento prismatico rigido di dimensioni pari a $99 \times 99 \times 20$ mm. Serve ad applicare il carico verticale ed esercitare uno sforzo normale di compressione all'interfaccia del provino.

4.3 Sistema di applicazione dei carichi

L'apparecchiatura ASTRA applica, durante la prova, un carico verticale P ed un carico orizzontale T inducendo uno stato di sollecitazione composito all'interfaccia del provino.

4.3.1 *Dispositivo per la forza verticale P* - Il dispositivo è costituito da un telaio dotato di un sistema di leve e pesi (Fig. 4.4). Il carico totale applicato al provino risulta dato dalla seguente espressione:

$$P = P_t + P_e + P_c + P_L \cdot \frac{b}{a} + (P_a + P_p) \cdot \frac{c}{a}$$

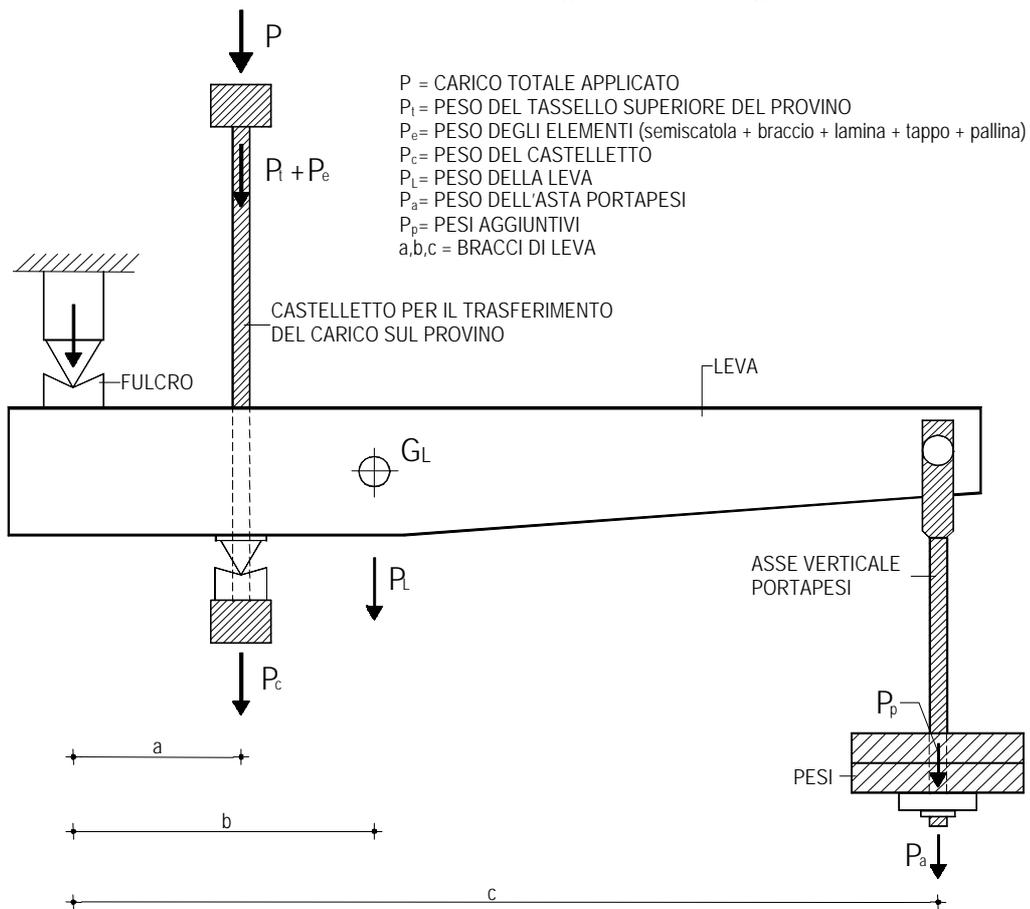


Fig. 4.4 – SCHEMA DELLA LEVA PER L'APPLICAZIONE DEL CARICO VERTICALE –

4.3.2 *Dispositivo per la forza orizzontale T* - Il dispositivo esercita una forza di taglio all'interfaccia del provino facendo avanzare l'alloggiamento mobile ad una velocità media costante durante la prova. La velocità di spostamento è controllata con una precisione del $\pm 1\%$ su un'ampia gamma di spostamenti. Per il mantenimento della velocità costante, può essere, ad esempio, utilizzata la combinazione di un motore e di una scatola di cambio; in tal caso il numero di giri da impostare al motore è dato dalla velocità di avanzamento voluta (mm/min) moltiplicata per la costante di conversione della scatola di cambio in base al rapporto scelto.

4.4 Sistema di rilevamento dati

L'apparecchiatura è in grado di rilevare all'interfaccia, durante tutta la durata della prova, la forza di taglio e gli spostamenti verticali ed orizzontali.

4.4.1 *Sistema di rilevamento degli spostamenti* – Gli spostamenti orizzontali e verticali possono essere rilevati attraverso un micrometro o un trasduttore induttivo di spostamento; tali dispositivi devono essere in grado di misurare spostamenti verticali di almeno 12 mm e spostamenti orizzontali non inferiori a 25 mm.

4.4.2 *Sistema di rilevamento della forza* – La forza di taglio applicata all'interfaccia può essere rilevata attraverso un comparatore (micrometrico o induttivo) collegato all'anello dinamometrico, oppure tramite una cella di carico (scelta consigliata); tali dispositivi devono essere in grado di misurare una forza max non inferiore a 5000 Kg con una precisione di 1 Kg.

In Fig. 4.5 è riportato lo schema delle parti che compongono l'apparecchiatura, assemblate nella configurazione iniziale di prova.

4.5 Camera climatica

La camera climatica consente di impostare e mantenere determinate condizioni termogigrometriche per il campione prima e durante l'esecuzione della prova; le caratteristiche della cella possono essere distinte in:

4.5.1 *Caratteristiche geometriche* - La cella deve avere dimensioni interne tali da consentire l'alloggiamento della macchina di taglio e l'ingresso di un operatore per l'allestimento del provino e comunque non inferiori a 1000×1000×2000 mm; i pannelli della cella devono avere uno spessore non inferiore a 80 mm ed essere costituiti da laminati (interni ed esterni) in lamiera zincopreverniciata, coibentati con poliuretano espanso alla densità di 40 Kg/m³. La porta deve essere dotata di guarnizione di tenuta a richiamo magnetico e di apertura di sicurezza interna. Opportuni fori di piccolo diametro ($\varnothing_{\max}=30$ mm) devono, inoltre, essere predisposti per il passaggio dei cavi (acquisizione, alimentazione della macchina di taglio, ecc..).

4.5.2 *Caratteristiche tecniche* – La cella deve mantenere temperature variabili tra -20 e +60 °C con una sensibilità di ± 0.5 °C, utilizzando un gas refrigerante R507 (classificato ecologico) per il “ciclo freddo” e resistenze elettriche corazzate in acciaio inox da 1300 W (post riscaldamento) per il “ciclo caldo”. Il mantenimento dell'umidità relativa avviene mediante un umidificatore a vapore acqueo con vaschette inox, resistenza a bagno, sonda elettronica di controllo livello, sicurezza termostatica antigelo e circuito elettronico anticallcare; i valori di U.R. possono variare da 0% a 100% nel range di temperatura -10÷+70 °C con una precisione pari a $\pm 3\%$ U.R. a 25 °C.

METODO DI PREPARAZIONE DEL PROVINO "IN CASCATA"

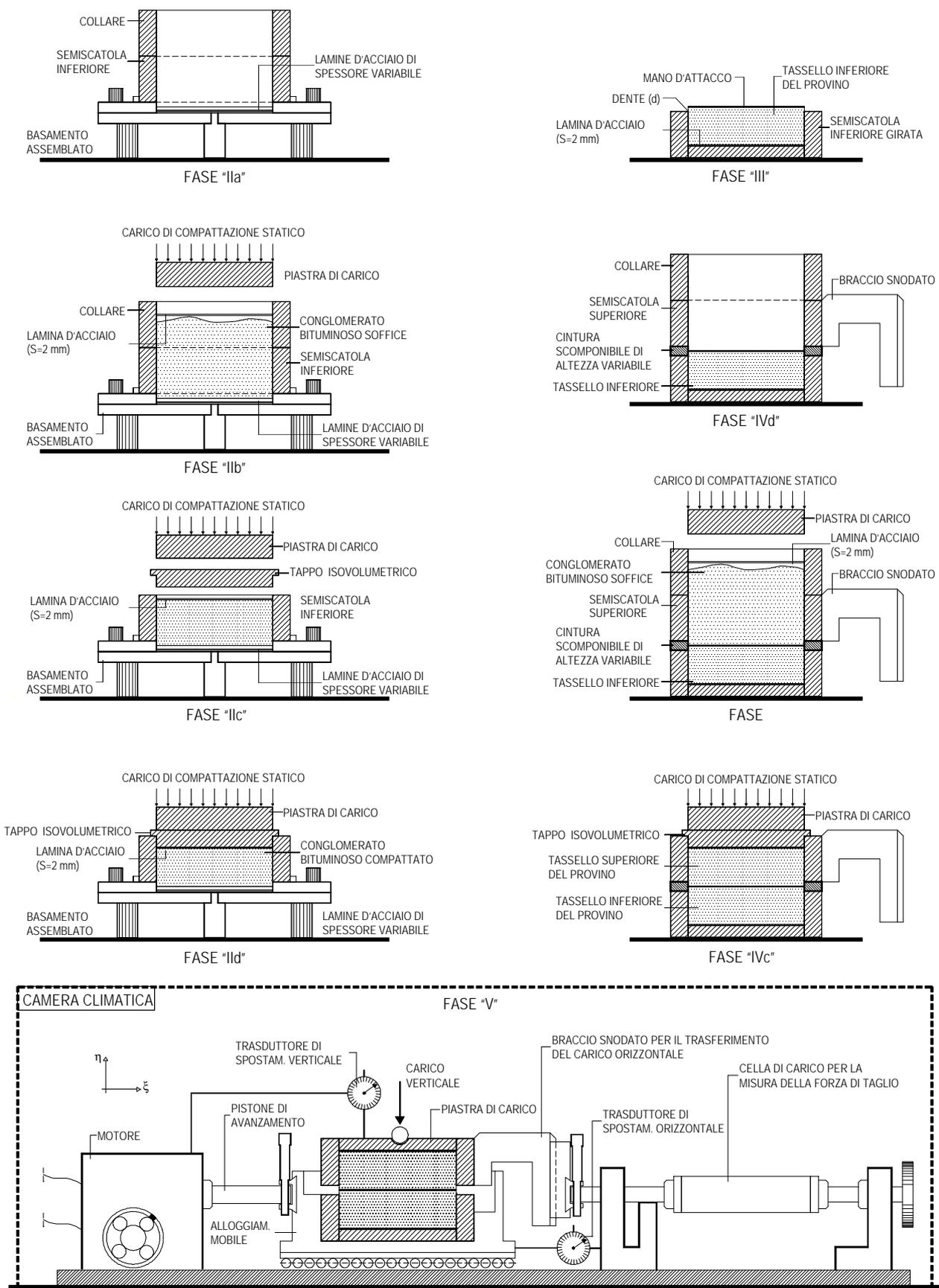


Fig. 4.1 Fasi per la Preparazione dei Provini e Configurazione di Prova

5 Tarature periodiche

Prima di eseguire la prova l'attrezzatura va periodicamente tarata assemblandone le diverse parti e simulando una prova di taglio, attraverso la seguente procedura:

- 5.1 Assemblare la scatola di taglio disponendo in luogo del provino, una piastra di calibrazione rigida prismatica avente dimensioni pari a 99×99×80 mm.
- 5.2 Azzerare le letture dello spostamento orizzontale e della forza di taglio.
- 5.3 Azionare il motore facendo avanzare la scatola di taglio ad una bassa velocità, mandando in contrasto la piastra di calibrazione con il dispositivo di misurazione della forza, fino a che si registri un valore di resistenza a taglio di 5 Kg_f.
- 5.4 Condizionare ad una temperatura di 25 °C e 50% U.R., per un tempo pari a 2 ore.
- 5.5 Azzerare le letture ed azionare il motore impostando una velocità di avanzamento pari a 2.5 mm/min.
- 5.6 Registrare la forza di taglio in corrispondenza di un avanzamento totale della scatola pari ad un valore predeterminato: tale valore deve essere determinato alla prima taratura della macchina, in corrispondenza di una forza di taglio pari a 1000 Kg, procedendo come ai punti precedenti.
- 5.7 Annotare qualsiasi grande variazione nella forza di taglio; ogni variazione può essere indicazione di supporti danneggiati o male allineati, o di una applicazione eccentrica della forza.
- 5.8 Arrestare il motore e rimuovere la piastra di calibrazione.
- 5.9 Il valore della forza di taglio registrata, che deve essere pari a 1000±20 Kg_f, fornisce la taratura dello strumento.

6 Preparazione dei provini ASTRA

Nella preparazione dei campioni per l'esecuzione della prova ASTRA possiamo distinguere i seguenti casi:

- ◆ CASO 1: realizzazione di una nuova pavimentazione bistrato.
- ◆ CASO 2: realizzazione di un nuovo strato su una pavimentazione esistente.
- ◆ CASO 3: verifica delle proprietà a taglio di una pavimentazione esistente.

6.1 CASO 1: realizzazione di una nuova pavimentazione bistrato

Si illustra il caso di pavimentazioni nuove in cui il provino bistrato viene realizzato completamente in laboratorio con il metodo “in cascata”, realizzando il secondo strato di conglomerato direttamente sopra il tassello precedentemente compattato, ottenendo all’interfaccia un ingranamento rappresentativo delle reali condizioni negli strati della nuova pavimentazione. Le diverse fasi per la preparazione dei provini, di seguito elencate, sono schematizzate in Fig. 4.5:

- ◆ Fase “I” : confezionamento della miscela di conglomerato bituminoso.
- ◆ Fase “II” : realizzazione del tassello inferiore del provino.
- ◆ Fase “III” : raffreddamento e stesa della mano d’attacco.
- ◆ Fase “IV” : realizzazione del tassello superiore del provino.
- ◆ Fase “V” : stagionatura del provino ed esecuzione della prova.

6.1 I - Confezionamento della miscela di conglomerato bituminoso -

- ◆ La miscela di conglomerato bituminoso può essere prelevata direttamente all’impianto oppure appositamente preparata in laboratorio; ogni porzione del provino deve raggiungere una densità pari a quella ottenuta sullo stesso materiale, precedentemente costipato secondo le modalità previste dalla prova Marshall (CNR BU nr. 30 del 15 marzo 1973).

6.1 II - Realizzazione del tassello inferiore del provino –

IIa Assemblaggio degli elementi per la realizzazione del tassello inferiore.

- ◆ Determinazione dell’altezza della zona non confinata in funzione del diametro massimo degli aggregati, come descritto in appendice 2.
- ◆ Assemblaggio, mediante apposite viti, del sistema preposto alla creazione del dente sul basamento.
- ◆ Disposizione delle lamine di acciaio, nella quantità e spessori necessari.
- ◆ Centatura, sul basamento, della semiscatola di taglio inferiore in posizione capovolta.
- ◆ Montaggio del collare.

IIb Preconsolidazione per la preparazione del tassello inferiore.

- ◆ Introduzione, nella cavità, di una quantità di conglomerato bituminoso pari a quella calcolata in appendice 2, riscaldato alla temperatura di 140 °C per almeno 2 ore.
- ◆ Interposizione di una lamina d’acciaio di spessore pari a 2 mm tra il conglomerato bituminoso e la piastra di carico.
- ◆ Applicazione, per mezzo di una pressa idraulica, di una preconsolidazione al provino fino all’abbassamento della superficie del conglomerato bituminoso al di sotto della estremità della scatola di taglio.

Iic Predisposizione alla compattazione finale.

- ◆ Rimozione del collare
- ◆ Inserimento del tappo d'acciaio avente uno spessore effettivo di 10 mm per il raggiungimento del volume noto.

Iid Compattazione finale.

- ◆ Applicazione di una spinta fino alla completa penetrazione del tappo nella scatola e mantenimento della stessa per un tempo di 5 min allo scopo di evitare fenomeni di rigonfiamento.

6.1 III - Raffreddamento e stesa della mano d'attacco -

- ◆ Rimozione della semiscatola di taglio inferiore mediante la sconnessione del basamento dagli elementi preposti alla formazione del dente.
- ◆ Raffreddamento del tassello ottenuto, alla temperatura ambiente, tramite immersione per 30 min in bagno termostatico a 25 °C.
- ◆ Asciugatura della superficie di conglomerato del tassello, con carta assorbente ed aria compressa.
- ◆ Applicazione della mano d'attacco secondo il dosaggio ed il tipo previsti; distribuzione uniforme del legante sulla superficie del tassello inferiore.
- ◆ Attesa pari al tempo di rottura nel caso di emulsioni bituminose.

6.1 IV - Realizzazione del tassello superiore del provino –

IV.a Assemblaggio degli elementi per la realizzazione del tassello superiore.

- ◆ Inserimento della cintura metallica scomponibile di altezza doppia rispetto al dente.
- ◆ Inserimento della semiscatola di taglio superiore.
- ◆ Montaggio del collare.

IV.b Preconsolidazione per la preparazione del tassello superiore.

- ◆ Procedere come per la fase *Iib*.

IV.c Realizzazione del tassello superiore del provino.

- ◆ Procedere come per le fasi *Iic* e *Iid*.

6.1 V - Stagionatura del provino ed esecuzione della prova –

- ◆ Allestimento della scatola di taglio e della strumentazione della macchina di taglio diretto ASTRA, all'interno della camera climatica sino alla configurazione iniziale di prova (Fig. 4.5).

- ◆ Stagionatura del provino in camera climatica, alla temperatura e umidità prescelte, per un tempo di 11 ore.
- ◆ Esecuzione della prova di taglio diretto ASTRA (cfr. §7).

6.2 CASO 2: realizzazione di un nuovo strato su una pavimentazione esistente

Si illustra il caso in cui la pavimentazione esistente richiede l'applicazione di uno strato di rinforzo; in queste condizioni il tassello inferiore del provino è ricavato a partire da carotaggi effettuati sulla pavimentazione esistente, mentre il tassello superiore viene realizzato "in cascata" compattando il conglomerato bituminoso direttamente sopra il tassello prelevato in sito. Le fasi per la preparazione dei provini possono distinguersi in:

- ◆ *Fase "I"* : confezionamento della miscela di conglomerato bituminoso.
- ◆ *Fase "II"* : realizzazione del tassello inferiore del provino.
- ◆ *Fase "III"* : stesa della mano d'attacco.
- ◆ *Fase "IV"* : realizzazione del tassello superiore del provino.
- ◆ *Fase "V"* : stagionatura del provino ed esecuzione della prova.

6.2 I - Confezionamento della miscela di conglomerato bituminoso –

- ◆ Procedere come per la fase 6.1 I.

6.2 II - Realizzazione del tassello inferiore del provino –

- ◆ Prelievo di carote dalla pavimentazione in situ, di diametro non inferiore a 150 mm.
- ◆ Determinazione dell'altezza della zona non confinata in funzione del diametro massimo degli aggregati, come descritto in appendice 1.
- ◆ Estrazione di un tassello prismatico dalla carota, di dimensioni in pianta pari a 99×99 mm ed altezza variabile non inferiore a 30 mm.
- ◆ Posizionamento della semiscatola inferiore ed inserimento della piastra d'acciaio inferiore di spessore pari a 10 mm.
- ◆ Inserimento del tassello all'interno della semiscatola di taglio inferiore.

6.2 III - Stesa della mano d'attacco –

- ◆ Procedere come per la fase 6.1 III.

6.2 IV - Realizzazione del tassello superiore del provino –

- ◆ Procedere come per la fase 6.1 IV.

6.2 V - Stagionatura del provino ed esecuzione della prova -

- ◆ Procedere come per la fase 6.1 V.

6.3 CASO 3: verifica delle proprietà a taglio di una pavimentazione esistente

Si illustra il caso relativo alla verifica di un lavoro in opera, consistente nella stesa di strati in conglomerato bituminoso legati con una mano d'attacco; in questo caso il provino è estratto da carote prelevate dalla pavimentazione esistente. Le fasi per la preparazione dei provini possono distinguersi in:

- ◆ *Fase "I"* : realizzazione del provino.
- ◆ *Fase "II"* : stagionatura del provino ed esecuzione della prova.

6.3 I - Realizzazione del provino –

- ◆ Prelievo di carote dalla pavimentazione in situ, di diametro non inferiore a 150 mm.
- ◆ Determinazione dell'altezza della zona non confinata in funzione del diametro massimo degli aggregati, come descritto in appendice 1.
- ◆ Estrazione di un tassello prismatico dalla carota, di dimensioni in pianta pari a 99×99 mm ed altezza variabile non inferiore a (30+30) mm.
- ◆ Posizionamento della semiscatola inferiore ed inserimento della piastra d'acciaio inferiore di spessore pari a 10 mm.
- ◆ Inserimento del provino all'interno della semiscatola.
- ◆ Distanziamento delle semiscatole tramite la cintura metallica scomponibile di altezza pari a quella della zona non confinata.
- ◆ Posizionamento della semiscatola di taglio superiore.

6.3 II - Stagionatura del provino ed esecuzione della prova –

- ◆ Procedere come per la fase 6.1 V.

7 Esecuzione della prova

- 7.1 Accensione del motore ed imposizione di una velocità di avanzamento costante alla semiscatola inferiore pari a 2.5 mm/min.
- 7.2 Registrazione, ad intervalli di tempo regolari di 1 sec, per tutta la durata della prova, delle letture riportate dai sistemi di acquisizione dati e della temperatura interna alla camera climatica.
- 7.3 Avanzamento fino al raggiungimento di valori costanti della forza di taglio.
- 7.4 Rimozione del provino dalla scatola di taglio.

8 Espressione dei risultati di prova

8.1 Caratteristiche dei materiali impiegati

Con riferimento alle caratteristiche dei materiali impiegati, indicare:

- ◆ le proprietà degli aggregati;
- ◆ la curva granulometrica degli aggregati;
- ◆ le proprietà del bitume;
- ◆ le caratteristiche dell'eventuale emulsione bituminosa;
- ◆ le proprietà del conglomerato bituminoso.

8.2 Dati di configurazione

Con riferimento alle caratteristiche del provino ed ai parametri di prova, indicare:

- ◆ codice del provino;
- ◆ provenienza del materiale;
- ◆ densità Marshall del conglomerato bituminoso;
- ◆ tipo e quantità [g] di emulsione bituminosa utilizzata come mano d'attacco;
- ◆ percentuale di bitume e vuoti residui nel conglomerato bituminoso;
- ◆ altezza della zona non confinata;
- ◆ tensione normale di compressione variabile nel range 0÷5 Kg/cm²;
- ◆ velocità di avanzamento impostata [mm/min];
- ◆ temperatura [°C] ed umidità [%] prescelte.

8.3 *Tabella di acquisizione ed elaborazione dati*

Nella tabella riportare i seguenti risultati:

- ♦ tempo dall'inizio prova [sec];
- ♦ lettura dello spostamento verticale [mm];
- ♦ lettura dello spostamento orizzontale [mm];
- ♦ dilatanza, data dal rapporto tra le differenze delle letture, correnti e precedenti, dello spostamento verticale ed orizzontale rispettivamente;
- ♦ velocità di scorrimento media ed effettiva [mm/sec];
- ♦ area di contatto effettiva [cm²] calcolata come segue:

$$A_c = A_0 - (L_0 \cdot d) = 100 - (10 \cdot d)$$

dove: A_0 = area di contatto iniziale
 L_0 = larghezza del provino
 δ = spostamento orizzontale della macchina

- ♦ tensione normale (σ_v) all'interfaccia determinata dal rapporto tra carico assiale ed area corretta corrispondente [Kg/cm²];
- ♦ forza di taglio (T) [Kg];
- ♦ tensione tangenziale (τ) determinata dal rapporto tra la forza di taglio e l'area corretta corrispondente [Kg/cm²];
- ♦ modulo di reazione orizzontale (K) [Kg/cm³];
- ♦ rapporto tra tensione tangenziale e normale corrispondente (τ/σ_v).

8.4 *Diagrammi e valori rappresentativi*

Riportare quanto segue:

- ♦ diagramma della dilatanza in funzione dello spostamento orizzontale (d- δ);
- ♦ diagramma della forza di taglio in funzione dello spostamento orizzontale (T- δ);
- ♦ diagramma della tensione tangenziale in funzione della tensione normale (τ - σ);
- ♦ valore di picco della tensione tangenziale (τ_{picco});
- ♦ valore di picco della tensione normale (σ_{picco});
- ♦ valore dell'angolo di attrito residuo (μ_{residuo}).

8.5 *Parametri caratteristici del dominio di rottura*

Nel caso vengano eseguite prove con almeno due differenti valori della tensione normale applicata, per un stessa temperatura, rappresentare il dominio di rottura sul piano di Mohr (σ - τ) indicando i parametri caratteristici relativi alla coesione ed angolo di attrito.

Di seguito è riportato un esempio di rappresentazione ed interpretazione dei risultati di prove di taglio diretto ASTRA; il campione è stato testato, nelle condizioni di prova prescelte, eseguendo due ripetizioni.



Centro Interuniversitario Sperimentale
di Ricerca Stradale.
Unità: Università degli Studi di Ancona.

CERT. **xx/xx**
Protocollo yy/yy
Pagina 1/8
Ancona gg/mm/aa

Laboratorio Stradale - Sezione Reologia dei Conglomerati

PROVA ASTRA DI TAGLIO DIRETTO

ASTRA
Direct Shear Test

GL0905+12,5c [CP]



COMMITTENTE:
Recapito:

CARATTERISTICHE DEI MATERIALI PER L'ESECUZIONE DELLE PROVE DI TAGLIO

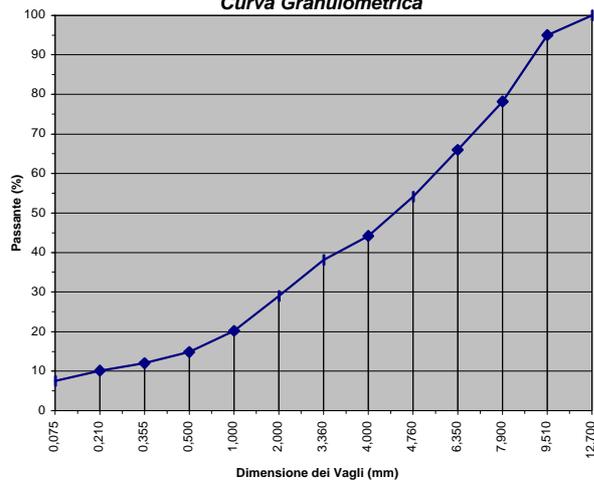
PROPRIETA' DEGLI AGGREGATI

Famiglia	Classe [mm]	Natura [Silicea-Calcareo]	Provenienza	Massa [g/cm ³]	%	m'
graniglia	6/10	Silico-Calcareo	SCM	2,676	34	0,0769
graniglia	4/6	Silico-Calcareo	SCM	2,672	26	0,0769
graniglia	0/4c	Silico-Calcareo	SCM	2,675	38	0,0769
.....						
.....						
.....						
filler	<0,075	Calcareo	SINTEXCAL	2,730	2	0,0774

Massa [g/cm³] **2,676**

Totale **100%**

Curva Granulometrica



Setaccio [mm]	Tratt. Cum. [%]	Pass. Cum. [%]
12,700	0,0	100,0
9,510	5,0	95,0
7,900	21,8	78,2
6,350	34,0	66,0
4,760	45,9	54,1
4,000	55,8	44,2
3,360	61,9	38,1
2,000	71,0	29,0
1,000	79,8	20,2
0,500	85,2	14,8
0,355	88,0	12,0
0,210	89,9	10,1
0,075	92,5	7,5

PROPRIETA' DEL BITUME

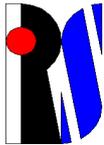
Famiglia	Classificazione	Provenienza	% bitume nel C.B.	Massa [g/cm ³]	Penetraz. [dmm]	T _{ReB} [°C]
Bitume	50/70	ELF FEYZIN	5,8	1,03	64	48

PROPRIETA' DELL'EMULSIONE BITUMINOSA

Famiglia	Classificazione [anionica-cationica]	Provenienza	Tempo rottura [min]	% bitume	% acqua	Tipo bitume
Emulsione bitum.	cationica	ELF FEYZIN	60	60	40	N.P.

PROPRIETA' DEL CONGLOMERATO BITUMINOSO

Famiglia	g _{agg} [g/cm ³]	g _{bit} [g/cm ³]	g _{c.b.} [g/cm ³]	Tipo filler	% bitume	% vuoti
Conglomerato bit.	2,676	1,03	2,285	calcareo	5,8	7,1



CONFIGURAZIONE DI PROVA

Informazione	Unità	Note	Valore
Provenienza dei provini	-	1	L
Altezza zona non confinata	[mm]		9,2
Dente	[mm]		4,6
Peso C.B. nella semiscatola	[g]	2	745
Dosaggio tack-coat	[g/dm ²]		5,0
Tempo di rottura dell'emulsione	[h]		1
Stagionatura a T _{ambiente}	[h]		9
Stagionatura a T _{prova}	[h]		11
Temperatura di prova	[°C]	3	+12,5
Umidità Relativa	[%]		50
Tensione normale	[Kg/cm ²]	4	4,73
Velocità di scorrimento	[mm/min]		2,5

Note

- 1 L=laboratorio S=sito
- 2 Peso di C.B. per un singolo tassello del provino
- 3 Indicare la temperatura specificando anche il segno
- 4 Indicare il valore espresso in Kg/cm²

NOMENCLATURA CAMPIONE

[a] [b] [cc] [dd] [eee] [g]

[a] : Iniziale ditta committente	⇒	G
[b] : Provenienza dei provini	⇒	L
[cc] : Altezza zona non confinata	⇒	09
[dd] : Dosaggio di emulsione	⇒	05
[eee] : Temperatura di prova	⇒	+12,5
[g] : Tensione normale	⇒	c

CODICE CAMPIONE

GL0905+12,5c

Tensione normale:

a =	1,27	[Kg/cm ²]
b =	3,00	[Kg/cm ²]
c =	4,73	[Kg/cm ²]
d =	[Kg/cm ²]
e =	[Kg/cm ²]
f =	[Kg/cm ²]

CARATTERISTICHE DEL CAMPIONE

Informazione	Note	Valore
Natura inerte	1	Silico-Calcareo
Provenienza del campione	2	Laboratorio
Densità del conglomerato	3	2,285
Tipo di emulsione	4	Gerland 60%
% Bitume nel conglomerato		5,8
% Vuoti nel conglomerato		7,1

Note

- 1 Siliceo - Calcareo - Silico-Calcareo
- 2 Indicare il luogo per esteso (laboratorio, nome del sito, ecc..)
- 3 Indicare il valore espresso in g/cm³
- 4 Indicare il nome e/o la percentuale di bitume



CARATTERISTICHE DEL CAMPIONE:

Codice Provino: **GL0905+12,5c.001** Provenienza **Laboratorio**
Densità del C.B. **2,285 g/cm³** Bitume: **5,8 %**

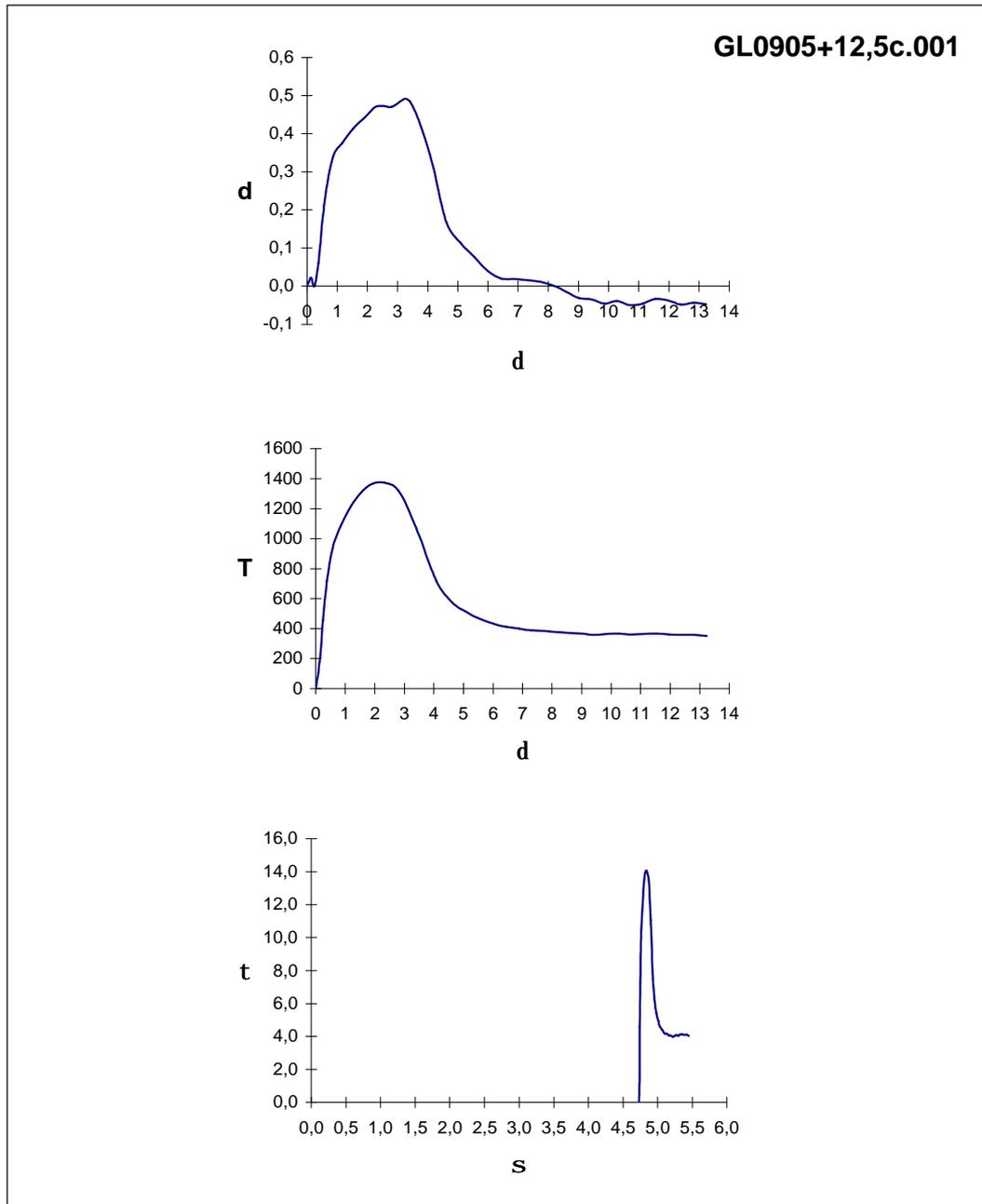
Natura inerte: **Silico-Calcareo**
Vuoti: **7,1 %**

PARAMETRI DI PROVA:

Velocità di prova: **2,5 mm/min**
Temperatura: **+12,5 °C**

Tipo e quantità di mano d'attacco: **Gerland 60% - 5 gr**
Tensione normale: **4,73 Kg/cm²**

U.R.: **50 %**



VALORI RAPPRESENTATIVI:

$t_{\text{picco}} = 14,1 \text{ Kg/cm}^2$ $s_{\text{picco}} = 5,5 \text{ Kg/cm}^2$ $m_{\text{residuo}} = 36,5^\circ$



Centro Interuniversitario Sperimentale
di Ricerca Stradale.
Unità: Università degli Studi di Ancona.

CERT.
Protocollo
Pagina
Ancona

xx/xx
yy/yy
6/8
gg/mm/aa

CARATTERISTICHE DEL CAMPIONE:

Codice Provino: **GL0905+12,5c.002** Provenienza **Laboratorio**
Densità del C.B. **2,285 g/cm³** Bitume: **5,8 %**

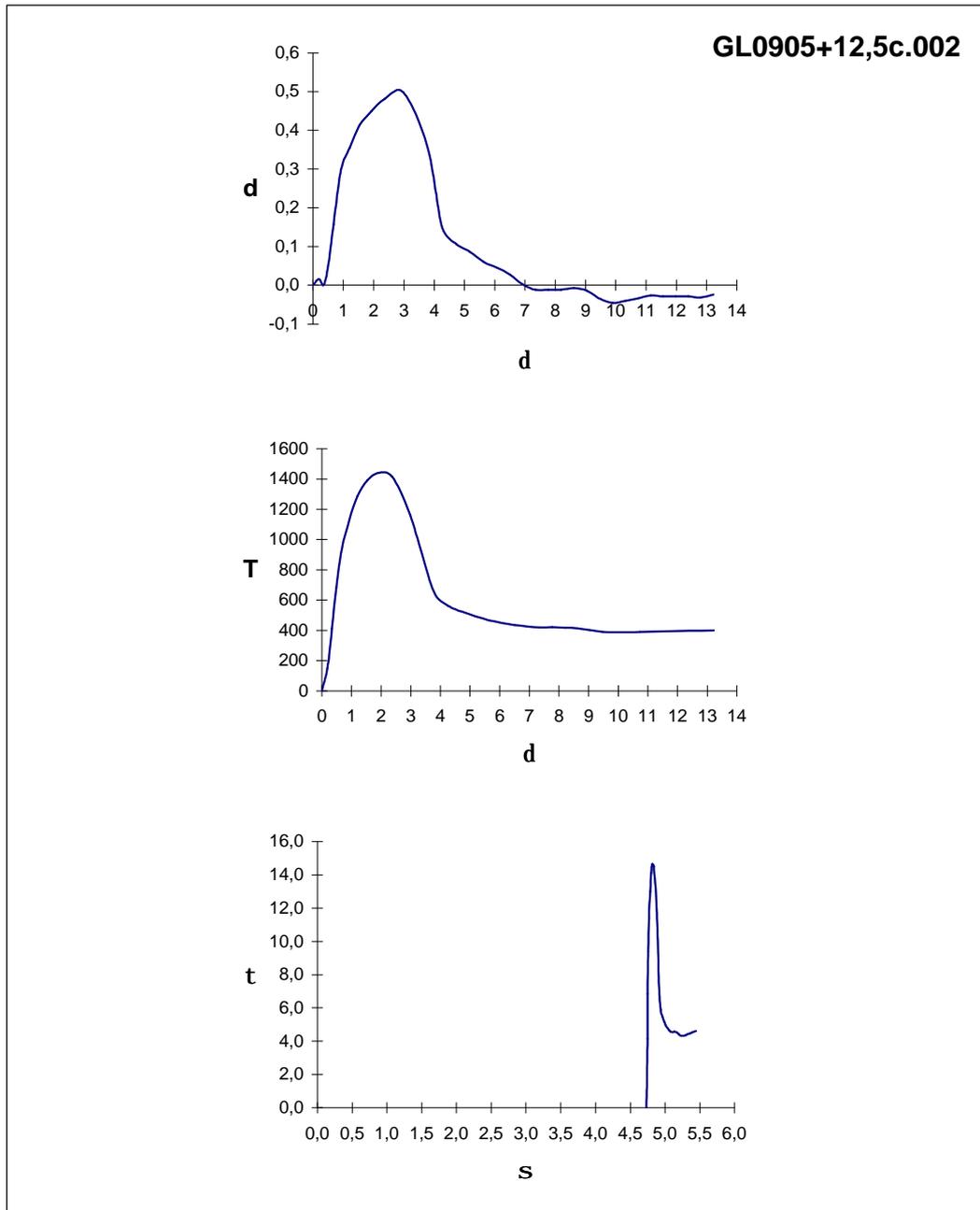
Natura inerte: **Silico-Calcareo**
Vuoti: **7,1 %**

PARAMETRI DI PROVA:

Velocità di prova: **2,5 mm/min**
Temperatura: **+12,5 °C**

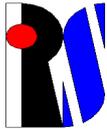
Tipo e quantità di mano d'attacco: **Gerland 60% - 5 gr**
Tensione normale: **4,73 Kg/cm²**

U.R.: **50 %**

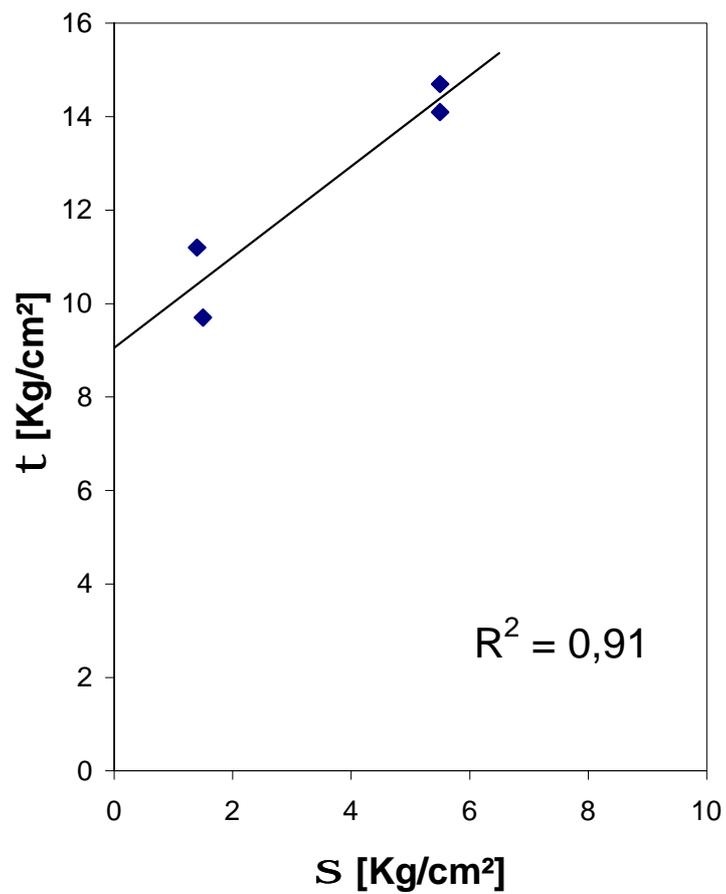


VALORI RAPPRESENTATIVI:

$t_{\text{picco}} = 14,7 \text{ Kg/cm}^2$ $S_{\text{picco}} = 5,5 \text{ Kg/cm}^2$ $m_{\text{residuo}} = 40,2 \text{ }^\circ$



DOMINIO DI ROTTURA



VALORI RAPPRESENTATIVI: $t = c + stgf$
 $c = 9,05 \text{ Kg/cm}^2$ $f = 44,1^\circ$

APPENDICE 1 – ALTEZZA DELLA ZONA NON CONFINATA –

Per evitare che i risultati relativi alla resistenza al taglio dell'interfaccia del provino siano influenzati dalla rigidità dei grani costituenti la miscela di conglomerato bituminoso (Fig. 6), l'altezza della cintura coincidente con la zona non confinata "t" è funzione del diametro massimo " ϕ_{\max} " degli aggregati utilizzati, secondo la seguente relazione:

$$t = 2d \quad d = \frac{f_{\max}}{2}$$

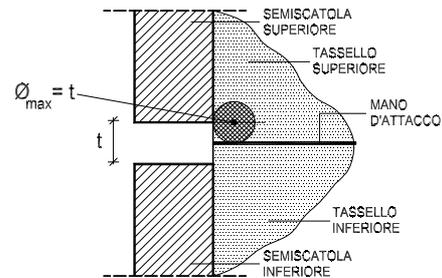


Fig. 4.5 – PARTICOLARE DELLA ZONA NON CONFINATA –

Il basamento superiore è dimensionato per consentire l'utilizzo di aggregati aventi $\phi_{\max}=18$ mm ($d=9$ mm); valori di ϕ_{\max} maggiori potrebbero dar luogo al cosiddetto effetto scala. In corrispondenza di valori di ϕ_{\max} inferiori, la riduzione di "t" si ottiene utilizzando apposite lamine dal fondo del basamento.

APPENDICE 2 – QUANTITATIVO DI MATERIALE DA UTILIZZARE –

Il quantitativo di materiale da utilizzare per realizzare ogni singolo tassello del provino, compattato ad una densità pari a quella opt. Marshall, è dato dalla seguente espressione:

$$P = \gamma_m \cdot V_p$$

$$V_p = a \cdot b \cdot \left(h - s' + \frac{t}{2} \right) = 100 \cdot \left(2,8 + \frac{t}{2} \right)$$

dove:

P = quantitativo di materiale necessario [g]

γ_m = densità del provino [g/cm^3]

V_p = volume del provino [cm^3]

a,b = dimensioni in pianta del provino [cm^2]

h = altezza utile delle semiscatole di taglio [cm]

s' = spessore della lamina d'acciaio [cm]

t = altezza della zona non confinata [cm]

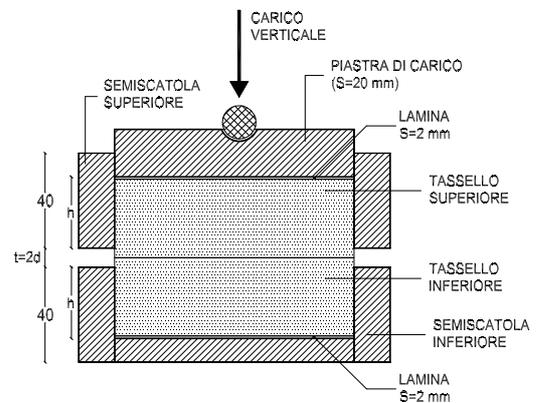


Fig. 4.6 – SCATOLA DI TAGLIO CONTENENTE IL PROVINO –

APPENDICE 3 – Terminologia –

- ◆ *Provino* = singolo sistema bistrato.
- ◆ *Campione* = gruppo di provini la cui media dei valori indica le grandezze rappresentative della configurazione di prova assunta.
- ◆ *Tassello* = singolo strato del provino.
- ◆ *Dente “d”* = sporgenza del singolo strato dalla rispettiva semiscatola.
- ◆ *Zona non confinata (t)* = distanza tra le due semiscatole nella configurazione iniziale.
- ◆ *Stato critico* = fase di scorrimento dell'interfaccia a volume costante.

Bibliografia

- [1] **Uzan J.**, “*The Influence of the Interface Condition on Stress Distribution in a Layered System*”, TRANSPORTATION RESEARCH BOARD, NATIONAL RESEARCH COUNCIL (1976).
- [2] **Eisenman J., Lempe U., Leykauf G.**, “*Method for the Structural Design of Asphalt Pavements*”, PROCEEDINGS OF THE 4th INTERNATIONAL CONFERENCE STRUCTURAL DESIGN OF ASPHALT PAVEMENTS, Ann Arbor (1977).
- [3] **Canestrari F., Santagata E., Santagata F.A.**, “*Laboratory Shear Testing of Tack Coat Emulsion*”, PROCEEDINGS OF THE 1st CONGRESS ON EMULSION, Parigi, Francia (1993).