



Corso Luigi Einaudi, 55/B - Torino

Appunti universitari

Tesi di laurea

Cartoleria e cancelleria

Stampa file e fotocopie

Print on demand

Rilegature

NUMERO: 902

DATA: 12/03/2014

# APPUNTI

STUDENTE: Ottina

MATERIA: Costruzione di strade, ferrovie e aeroporti 2013-14

Prof. Baglieri

Il presente lavoro nasce dall'impegno dell'autore ed è distribuito in accordo con il Centro Appunti.

Tutti i diritti sono riservati. È vietata qualsiasi riproduzione, copia totale o parziale, dei contenuti inseriti nel presente volume, ivi inclusa la memorizzazione, rielaborazione, diffusione o distribuzione dei contenuti stessi mediante qualunque supporto magnetico o cartaceo, piattaforma tecnologica o rete telematica, senza previa autorizzazione scritta dell'autore.

ATTENZIONE: QUESTI APPUNTI SONO FATTI DA STUDENTIE NON SONO STATI VISIONATI DAL DOCENTE.  
IL NOME DEL PROFESSORE, SERVE SOLO PER IDENTIFICARE IL CORSO.



**POLITECNICO DI TORINO**  
**Corso di Laurea Magistrale**  
**in Ingegneria Civile**  
a.a. 2013-14



**Costruzione di Strade, Ferrovie ed Aeroporti (03ALVMX)**

**PRESENTAZIONE DEL CORSO**



## Docenti

---

### Riferimenti

**Prof. Orazio Baglieri – titolare del corso**

Dipartimento di Ingegneria dell'Ambiente, del Territorio e delle Infrastrutture (DIATI)  
Tel. 011 090 5625 / 5625 - e-mail: [orazio.baglieri@polito.it](mailto:orazio.baglieri@polito.it)

**Ing. Giuseppe Chiappinelli – esercitatore**

Dipartimento di Ingegneria dell'Ambiente, del Territorio e delle Infrastrutture (DIATI)  
Tel. 011 090 5636 / 5636 - e-mail: [giuseppe.chiappinelli@polito.it](mailto:giuseppe.chiappinelli@polito.it)

**Ing. Pierpaolo Riviera – esercitatore**

Dipartimento di Ingegneria dell'Ambiente, del Territorio e delle Infrastrutture (DIATI)  
Tel. 011 090 5612 / 5612 - e-mail: [pierpaolo.riviera@polito.it](mailto:pierpaolo.riviera@polito.it)

APPALTO : CONTRATTO TRA 2 SOGGETTI

- APPALTANTE, COMMITTENTE (PUBBLICO);
- APPALTATORE, COLUI CHE REALIZZA L'OPERA SECONDO CONTRATTO E DEVE SEGUIRE UNA PROCEDURA PUBBLICA E FORNIRE IL PROGETTO ESECUTIVO.

01/10/2013

**Inquadramento generale**

---

**Progetto esecutivo**

- Relazione generale
- Relazioni specialistiche
- Elaborati grafici comprensivi delle strutture, degli impianti e di ripristino e miglioramento ambientale
- Calcoli esecutivi delle strutture e degli impianti
- Piani di manutenzione dell'opera
- Piani di sicurezza e coordinamento
- Computo metrico estimativo e quadro economico
- Cronoprogramma
- Elenco prezzi unitari ed eventuali analisi
- **Capitolato Speciale d'Appalto**

↓

Legge il progetto dell'opera alla sua esecuzione

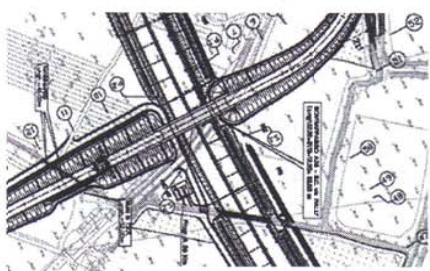
APPALTO INTEGRALE !  
 OLTRE ALL'ESECUZIONE DELL'OPERA SI CHIEDE IL PROGETTO ESECUTIVO. (DOPO AVER CONSEGNATO IL DEFINITIVO).

COSTRUZIONE MISURA E CONTABILITA' DEI LAVORI (SAL, STATI DI AVANZAMENTO LAVORI, CON CADENZA PERIODICA FORNISCO IL DOCUMENTO CON LE OPERE GIÀ COMPIUTE E RICONO (SOLDI))

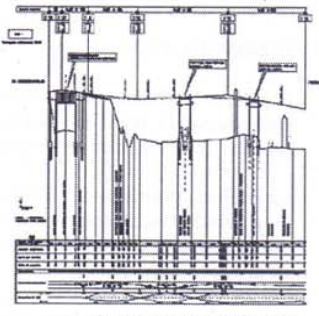
**Inquadramento generale**

---

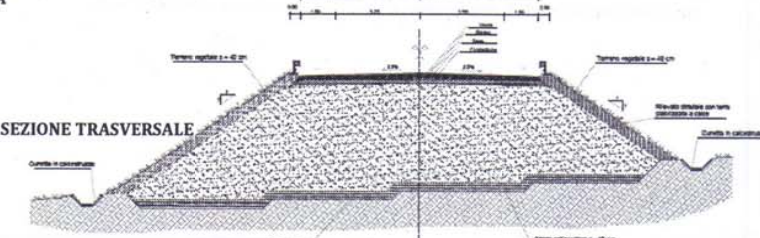
**DAL PROGETTO ....**



PLANIMETRIA



PROFILO LONGITUDINALE



SEZIONE TRASVERSALE

COLLAUDO  
 CONTROLLO FINALE FATTO DAL COLLAUDATORE (NOTAATO DAL COMMITTENTE) CHE VERIFICA SE L'OPERA RISPETTA IL PROGETTO.  
 DOPO, L'IMPRESA E' LIBERA DA OGNI ONERE.



01/10/2013

## **Obiettivi del Corso**

---

### **ESERCITAZIONI**

L'obiettivo delle esercitazioni è di approfondire alcuni aspetti specifici relativi agli argomenti trattati nelle lezioni teoriche e di sviluppare, dal punto di vista del calcolo, alcuni esempi pratici.

E' prevista una visita guidata di laboratorio in cui verranno visionate ed esaminate diverse apparecchiature impiegate per la caratterizzazione sperimentale dei materiali stradali, illustrandone i principi di funzionamento.

## **Programma degli argomenti/1**

---

### **NOZIONI GENERALI**

- Processo costruttivo delle opere infrastrutturali
- Capitolato Speciale d'Appalto. Norme prescrittive e prestazionali
- Aspetti fondamentali del controllo di qualità e dei criteri di accettazione

## **Programma degli argomenti/4**

---

### **SOVRASTRUTTURE FERROVIARIE**

- Realizzazione della massicciata
- Posa dell'armamento (traversine, rotaie e organi di attacco)
- Termica del binario: binario giuntato e Lunga Rotaia Saldata (LRS)
- Regolazione del binario in LRS
- Controlli sul binario

## **Programma degli argomenti/5**

---

### **ESERCITAZIONI**

Verrà assegnato lo svolgimento di un tema inerente alla costruzione di un tronco di strada di date caratteristiche. Il tema verrà progressivamente sviluppato per moduli nel corso delle esercitazioni, affrontando nello specifico i seguenti aspetti:

- Geometria del corpo stradale e calcolo dei volumi
- Caratterizzazione del piano di appoggio
- Classificazione e scelta della terra di impiego per il rilevato
- Studio Proctor
- Calcolo dei cedimenti del corpo stradale
- Parco macchine movimento terra : produzioni orarie e stima dei tempi di costruzione
- Organizzazione del campo prova
- Controlli in corso d'opera
- Mix design di conglomerati bituminosi
- Controlli sulla pavimentazione (materiali costituenti e caratteristiche superficiali)

**Le esercitazioni svolte da ciascun candidato devono essere presentate sotto forma di un elaborato finale prima dell'appello d'esame.**

01/10/2013



**POLITECNICO DI TORINO**  
**Corso di Laurea Magistrale**  
**in Ingegneria Civile**  
a.a. 2013-14




**Costruzione di Strade, Ferrovie ed Aeroporti (03ALVMX)**

**NOZIONI GENERALI**  
Norme tecniche di  
Capitolato - Sistema e controllo di qualità



LE INFRASTRUTTURE SONO QUASI TUTTE OPERE PUBBLICHE E BISOGNA SEGUIRE LE LEGGI DELLO STATO.

**NORMATIVA DI RIFERIMENTO**

---

Decreto Legislativo 12 aprile 2006 n.163 - CODICE DEI CONTRATTI - MO DELLE PROCEDURE PUBBLICHE

"Codice dei contratti pubblici relativi a lavori, servizi e forniture in attuazione delle direttive 2004/17/CE e 2004/18/CE"

ingloba VECCHI REGOLAMENTI NORMATIVI

- Legge 11 febbraio 1994, n.109 e successive modificazioni "Legge quadro in materia di lavori pubblici" VECCHIO QUADRO INFORMATIVO, DEFINISCE I CRITERI GENERALI DELLA MATERIA
- DPR 21 dicembre 1999, n.554 "Regolamento di attuazione della legge quadro in materia di lavori pubblici"

REGOLAMENTO DI ATTUAZIONE: DOCUMENTO NORMATIVO CHE DICE TUTTE LE REGOLE PER ATTUARE LA LEGGE QUADRO



1° PARTE : - INDICARE TEMPI DI ESECUZIONE LAVORI (INIZIO / FINE)

- CRITERI SUL PAGAMENTO, STATI DI AVANZAMENTO LAVORI 01/10/2013
- STABILISCE LE PENALI SE L'IMPRESA NON RISPETTA I TEMPI DI CONSEGNA
- ESPRIMERE LE RISERVE, PER PROBLEMI DURANTE I LAVORI, LEGATI AL COMMITTENTE (RISARCIMENTO)

**CAPITOLATO SPECIALE d'APPALTO (CSA)**

Il CSA è un documento contrattuale che riguarda le prescrizioni tecniche da seguire nella esecuzione dei lavori

1° Parte - Descrizione dei lavori ed aspetti contrattuali TRA COMMITTENTE ED ESECUTORE

2° Parte - Norme tecniche di esecuzione, PIÙ CORPOSA, HA LE NORME

3° Parte - Norme di misurazione, MISURA PROGRESSIVA DELLA LAVORAZIONE

4° Parte - Elenco prezzi  
L'IMPORTO FINALE E' A CORPO, STABILITO CONTRATTUALMENTE.

NOI →

(A) MATERIALI, RUOLO FONDAMENTALE NELLA REALIZZAZIONE DELL'OPERA NEL PASSAGGIO DA PROGETTO A REALTÀ.  
I MATERIALI DEVONO AVERE DEI REQUISITI INOVET ALLA FINALITÀ DELL'OPERA.  
PER CAPIRLO DEVO CARATTERIZZARE IL MATERIALE (CON DELLE PROVE MISURA

**CAPITOLATO SPECIALE d'APPALTO (CSA)**

**Norme tecniche di esecuzione**

(A) Caratterizzazione e qualificazione dei materiali componenti

(B) Costruzione e messa in opera dei materiali C.N. NON. S.

(C) Controlli in corso d'opera e sul manufatto finito

QUELLA TERRA VA BENE PER FARE IL RILEVATO?  
I MATERIALI DEVONO ESSERE LAVORATI PER ESSERE MESSI IN OPERA.

LE CARATTERISTICHE DELL'OPERA) E QUANTIFICARLO (ATTRIBUIRE AL MATERIALE UNA CLASSE DI QUALITÀ, ESPRIMERE UN GIUDIZIO).

BISOGNA MONITORARE ('AVANZAMENTO LAVORI E LA QUALITÀ' DEI MATERIALI SECONDO OPPORTUNI CRITERI (NON POSSO CONTROLLARE TUTTO ALLA FINE MA DURANTE L'INTERO PROCESSO PRODUTTIVO)).

L'ESECUTORE DEVE GARANTIRE UNA DETERMINATA PRESTAZIONE FINALE SENZA SAPERE COME CONSEGUIRE IL RISULTATO FINALE ( DIVERSI MATERIALI, MACCHINE ... ).  
L'IMPRESA HA PIU' LIBERTA' DI AGIRE SOLO SE GARANTISCE IL RISULTATO FINALE RICHIESTO. 01/10/2013

## CAPITOLATO SPECIALE d'APPALTO (CSA)

### Norme tecniche di esecuzione

#### > PRESTAZIONALI

Fanno riferimento alle prestazioni che l'opera dovrà garantire al termine della sua realizzazione. Tali prestazioni vengono associate a grandezze (parametri) di controllo che possono essere valutate a prescindere dai materiali impiegati e dalle tecniche di lavorazione (controllo globale).

Ne deriva che, per essere pienamente efficaci, le Norme Tecniche prestazionali debbono basarsi su grandezze di assoluta affidabilità, inequivocabilmente legate alle prestazioni finali.

SONO MEGLIORI PERCHE' SI FANNO I CONTROLLI SOLO ALLA FINE CON IL COLAUDO.

NELA REALTA', SI USANO NORME PRESCRITTIVE INTEGRATE CON QUELLE PRESTAZIONALI (PIU' SICURE).

## CAPITOLATO SPECIALE d'APPALTO (CSA)

### Norme tecniche di esecuzione

#### > PRESCRITTIVE vs PRESTAZIONALI

Le Norme Tecniche prestazionali hanno il pregio di agevolare sia la Direzione Lavori, che può evitare i continui controlli in corso d'opera, sia l'Impresa, che può operare con maggiore libertà adottando le strategie più vantaggiose. Inoltre la valutazione finale dei lavori riduce, tra Direzione Lavori ed Impresa, il contenzioso che spesso scaturisce dalla diversa interpretazione delle Norme prescrittive.



01/10/2013

**CAPITOLATO SPECIALE d'APPALTO (CSA)**

MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI  
Ispettorato per la Circolazione e la Sicurezza Stradale

studio a carattere pre-normativo delle

**NORME TECNICHE DI TIPO PRESTAZIONALE PER  
CAPITOLATI SPECIALI D'APPALTO**

Documento approvato dalla Commissione di studio per le norme relative ai materiali stradali e progettazione, costruzione e manutenzione strade del CNR

**CIRS**  
Centro Interuniversitario di Ricerca Stradale ed Aeroportuale

VALORE RICHIESTO DEV'ESSERE MAGGIORE DEL VALORE CALCOLATO.  
NON ESISTE UN VALORE MINIMO ASSOLUTO, MA IL VALORE DEV'ESSERE  
COERENTE CON QUELLO ASSUNTO IN PROGETTO.

**CAPITOLATO SPECIALE d'APPALTO (CSA)**

**ESEMPIO - Capacità portante della fondazione stradale - PRESTAZIONALE**

MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI  
Ispettorato per la Circolazione e la Sicurezza Stradale

Formazione di strati in misto granulare - ART. 2

La dimensione massima dell'aggregato non deve in ogni caso superare la metà dello spessore dello strato di misto granulare ed il rapporto tra il passante al setaccio UNI 0,075 mm ed il passante al setaccio UNI 0,4 mm deve essere inferiore a 2/3.  
L'indice di portanza CBR (CNR-UNI 10009) dopo quattro giorni di imbibizione in acqua (testi prelevati e mantenuti passante al crivello UNI 25 mm) non deve essere minore del valore assunto per il calcolo della pavimentazione ed in ogni caso non minore di 30. È inoltre richiesto che tale condizione sia verificata per un intervallo di  $\pm 2\%$  rispetto all'umidità ottimale di costipamento.

- il modulo resiliente ( $M_R$ ) della miscela impiegata deve essere quello inserito nel progetto della pavimentazione e viene determinato applicando la norma AASHTO T294 o altra metodologia indicata dal progettista.
- il modulo di deformazione ( $M_d$ ) dello strato deve essere quello inserito nel progetto della pavimentazione e viene determinato impiegando la metodologia indicata nella norma (CNR 146/92).
- il modulo di reazione ( $k$ ) dello strato deve essere quello inserito nel calcolo della pavimentazione e viene determinato impiegando la metodologia indicata nella norma (CNR 92/83).  
I diversi componenti e, in particolare le sabbie, debbono essere del tutto privi di materie organiche, solubili, alterabili e friabili.

↓

**Impostazione PRESTAZIONALE**

IL CSA VA FATTO PER OGNI PROGETTO.

L'IMPOSTAZIONE PRESTAZIONALE E' FUNZIONE DEL PROGETTO, NON HO LIMITI GENERALI MA LIMITI LEGATI AL PROGETTO SPECIFICO.

## SISTEMA E CONTROLLO DI QUALITA' (QA/QC)

**Quality Assurance** FATTA DA UN ORGANISMO INDIPENDENTE (TERZO)

### VERIFICA INDIPENDENTE

Strumento di gestione attraverso cui pervenire ad una valutazione dell'affidabilità del processo di controllo (campionamento, prove sperimentali, procedure)

- Valutazione indipendente dai soggetti direttamente coinvolti nel rapporto fornitore/committente - parte terza
- Non valuta la qualità del prodotto bensì l'affidabilità o coerenza delle procedure di controllo

CAMPIONAMENTO, 1 OGNI M-PEZZI

## SISTEMA E CONTROLLO DI QUALITA' (QA/QC)

CONCETTI INDUSTRIALI APPLICATI ACQUE STRADE

### Quality Assurance



Riguarda il

**"SISTEMA"**

Assicura sul fatto che si stiano seguendo le giuste procedure

*(Process Oriented)*

### Quality Control



Riguarda gli

**"STRUMENTI DI CONTROLLO"**

Assicura sul fatto che i risultati ottenuti corrispondano a quelli attesi

*(Product Oriented)*

$S_c, S_L$  SI POSSONO ELIMINARE SE ESEGUIAMO LE PROCEDURE RICHIESTE, MENTRE  $S_{m/c}$  NON SI PUO' ELIMINARE.

**SISTEMA E CONTROLLO DI QUALITA' (QA/QC)**

**Variabilità delle caratteristiche dei materiali/lavorazioni**

L'obiettivo è quello di eliminare la fonte di variabilità dei risultati legata al campionamento ed alle procedure di prova, in modo da valutare solo quella associata al materiale ed alle modalità realizzative

$$S^2_{QC/AC} = S^2_c + S^2_l + S^2_{m/c}$$

↓

$S^2_{QC/AC} = S^2_{m/c}$

↓

Non può essere eliminata ma controllata mediante procedure e metodi affidabili

CAMPIONAMENTO: IMPORTANTE PER RIDURRE LA FONTE DI VARIABILITA' SELEZIONO POCHI ELEMENTI CHE SIANO RAPPRESENTATIVI DELLA POPOLAZIONE ESTENDENDO LE SUE CARATTERISTICHE A TUTTA LA

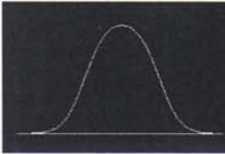

**SISTEMA E CONTROLLO DI QUALITA' (QA/QC)**

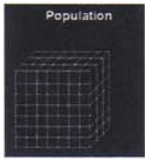
**Strumenti scientifici per il trattamento e l'analisi della variabilità**

- Statistica
- Campionamento casuale (*random sampling*)

↓

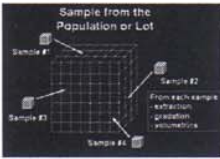
Procedura di campionamento secondo la quale ciascun provino della popolazione presenta la stessa opportunità di essere prelevato



Population

⇒



Sample from the Population or Lot

Sample #1, Sample #2, Sample #3, Sample #4

From each sample extraction precision volumetrica

Campione rappresentativo

↓

proprietà estendibili all'intera popolazione

POPOLAZIONE.

SE FACCO PIU' MISURE AVRO' PIU' RISULTATI DIVERSI.



### SISTEMA E CONTROLLO DI QUALITA' (QA/QC)

**Media**  
 E' la somma dei valori di tutti i dati diviso il numero totale dei dati

$$M_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

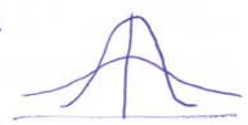
**Mediana**  
 Valore centrale della popolazione dei dati  
 CHE DIVIDE LA POPOLAZIONE IN 2 GRUPPI CON LO STESSO NUMERO DI SOGGETTI

IN GENERALE MEDIA ≠ MEDIANA

Smallest Value  
 $x_1$   
 $x_2$   
 $x_3$   
 ...  
 $x_{n-2}$   
 $x_{n-1}$   
 $x_n$   
 Largest Value

Il 50% dei punti sperimentali presenta valore inferiore  
 Mediana  
 Il 50% dei punti sperimentali presenta valore superiore

$S^2$  DA UN'IDEA SULLA DISPERSIONE INTORNO LA MEDIA (PRECISIONE) E CI RIFERIAMO ALLA DISTRIBUZIONE GAUSSIANA NORMALIZZATA



### SISTEMA E CONTROLLO DI QUALITA' (QA/QC)

**Intervallo di variazione (Range)**  
 Differenza tra il valore minimo ed il valore massimo di tutti i dati sperimentali

$$R = X_{MAX} - X_{MIN}$$

**Varianza, deviazione standard**  
 Fornisce una misura della dispersione dei dati

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}$$

$$\sigma = \sqrt{S^2}$$

σ PICCOLO = MOLTO PRECISO


### SISTEMA E CONTROLLO DI QUALITA' (QA/QC)

**Tipologie di campionamento**


- Discrezionale *A DISCREZIONE DI CHI FA IL CAMPIONAMENTO*
- Sistemático *1 CAMPIONE OGNI M-PEZZI*
- Stratificato *DIVIDO IL GRUPPO IN SOTTOGRUPPI*
- Casuale (Random) *SOTTO CASUALITÀ E STRATIFICAZIONE*

Casualità = elemento fondamentale da un punto di vista strettamente statistico

Verifica di conformità ← Ogni campione presenta la stessa opportunità di essere selezionato



**PURO**  
Ogni porzione del lotto presenta la stessa opportunità di essere campionato



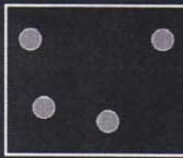
**STRATIFICATO**  
Il lotto viene preventivamente suddiviso in parti omogenee, successivamente sottoposte a campionamento casuale

*CON IL RANDOM STRATIGRAFICO DIVIDO LA PORZIONE IN M-SOTTO (INSIEMI) E GARANTISCO CHE TUTTO IL LOTTO E' ANALIZZATO PRESERVANDO LA CASUALITA'*

### SISTEMA E CONTROLLO DI QUALITA' (QA/QC)

**ESEMPIO - Carotaggi su tratto autostradale**


**RANDOM PURO**



Con un campionamento casuale puro si potrebbe avere la concentrazione dei provini in una porzione del lotto

*PUO' PORTARE PROBLEMI IL CAMPIONAMENTO PURAMENTE CASUALE. (MOLTI PUNTI IN UN' AREA VICINA)*

**RANDOM STRATIFICATO**

Sublot 1	Sublot 2	Sublot 3	Sublot 4	
				
Sta 100	Sta 110	Sta 120	Sta 130	Sta 140

Il lotto viene suddiviso in sub-lotti aventi uguali dimensioni  
In ogni sub-lotto il campionamento avviene in modo casuale

**VANTAGGI**

- > Campioni distribuiti lungo tutto il lotto
- > Criterio della casualità



BISOGNA VEDERE SE IL PROCESSO E' SOTTO CONTROLLO.

01/10/2013

LE CARTE DI CONTROLLO NON CI PERMETTONO DI PRODURRE L'OPERA BENE MA DI CONTROLLARE CHE IL PRODOTTO FINALE SIA FATTO BENE. (FACCIO LE VERIFICHE).

## SISTEMA E CONTROLLO DI QUALITA' (QA/QC)

### Carte di controllo

Strumento statistico per la verifica che un dato processo funzioni correttamente, ovvero sia in "controllo"

### IMPORTANTE

Le carte di controllo non consentono di tenere sotto controllo un processo, ma permettono di identificare l'insorgenza di problemi nel processo di produzione/lavorazione



Produttore (controllo di qualità)

LE CARTE DI CONTROLLO SERVONO PER VEDERE SE NEL PROCESSO SUBENTRA QUALCHE EVENTO CHE MODIFICA LE CARATTERISTICHE DEL PRODOTTO.

## SISTEMA E CONTROLLO DI QUALITA' (QA/QC)

### Variabilità

- Accidentale - legata al caso, non può essere eliminata, E' NORMALE, FISIOLOGICA
- Non accidentale (sistematica) - legata ad uno specifico problema, può essere eliminata,

### OBIETTIVO DELLE CARTE DI CONTROLLO



Distinguere la variabilità casuale da quella non casuale

### CAUSE NON ACCIDENTALI (SISTEMATICHE)

L'insorgenza di un problema o evento nel processo di produzione influenza la variabilità  
Tale tipologia di causa, se se ne identifica l'origine, può essere eliminata

LIMITI - ATTENZIONE  
 \ INTERVENTO, SOGLIE ESTREME NON VALICABILI

01/10/2013

SONO GRANDEZZE DEFINITE PER UNA DETERMINATA GRANDEZZA

### SISTEMA E CONTROLLO DI QUALITA' (QA/QC)

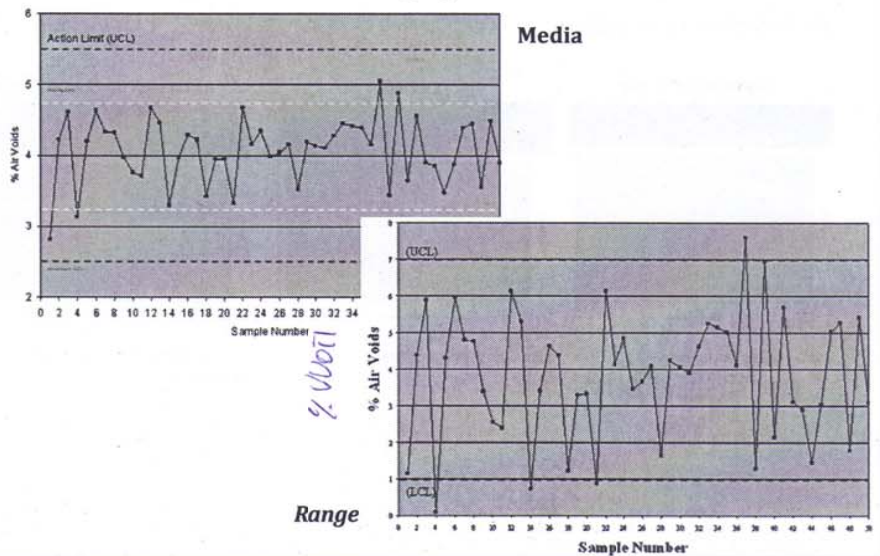
#### CARTA DI CONTROLLO - Criteri di impiego

Sulla carta di controllo si possono individuare cinque livelli caratteristici

1. Valore obiettivo (specifica)  
 $\bar{X}$
2. Limite di attenzione superiore (*Upper Warning Control Limit*)  
 $UWCL = \bar{X} + (2 (\sigma) / n^{1/2})$
3. Limite di attenzione inferiore (*Lower Warning Control Limit*)  
 $LWCL = \bar{X} - (2 (\sigma) / n^{1/2})$
4. Limite di intervento superiore (*Upper Action Control Limit*)  
 $UACL = \bar{X} + (3 (\sigma) / n^{1/2})$
5. Limite di intervento inferiore (*Lower Action Control Limit*)  
 $LACL = \bar{X} - (3 (\sigma) / n^{1/2})$

### SISTEMA E CONTROLLO DI QUALITA' (QA/QC)

#### CARTA DI CONTROLLO - Criteri di impiego



LA CARTA DI CONTROLLO E' UNO STRUMENTO DI VERIFICA 01/10/2013

### SISTEMA E CONTROLLO DI QUALITA' (QA/QC)

#### CARTA DI CONTROLLO - Criteri di intervento

**Variabilità non casuale = Problema!!**  
 ↓  
 Intervento per individuare la causa

⊕ DT = DIRETTORE TECNICO

**Criteri maggiormente usati**

- Punto singolo al di fuori dei limiti di intervento (3σ)
- Otto punti consecutivi sopra/sotto target E' STATISTICAMENTE IMPROBABILE CHE 8 PUNTI SIANO SOPRA/SOTTO → INCONSISTENZA STATISTICA.

CONTROLLO DI QUALITA' → PRODUTTORE (IMPRESA), SVOLTA DAL DT ACCETTAZIONE → CONTROLLORRE (UTENTE FINALE), FATTO DAL DIRETTORE LAVORI (DT), PERCHE' IL SUO BENE SIA ACCETTATO DAL DIRETTORE TECNICO

### SISTEMA E CONTROLLO DI QUALITA' (QA/QC)

#### Accettazione

Procedura di verifica di conformità del materiale/lavorazione, ovvero di rispondenza ai requisiti richiesti

↓

**LIMITI DI ACCETTAZIONE** - (DIVERSI DAI LIMITI DI CONTROLLO)

$PWL = (P_U + P_L) - 100$  → **Percentuale entro i limiti (PWL)**  
 Indicatore del grado di conformità del materiale rispetto ai limiti

LSL = limite di accettazione inferiore  
 USL = limite di accettazione superiore

ES % VUOTI 4%  
 ↓  
 4% E' IL LIMITE DI CONTROLLO

PWL = % DEI VALORI DELLA CARATTERISTICA DENTRO I LIMITI DI ACCETTAZIONE



## SISTEMA E CONTROLLO DI QUALITA' (QA/QC)

### PROCEDIMENTO OPERATIVO (Programma di accettazione)

- Eseguire il campionamento del materiale secondo il criterio *Random*
- Calcolo della media e della deviazione standard dei risultati di una data prova eseguiti sul lotto
- Determinare gli indici di qualità superiore ed inferiore
- Stimare gli indici  $P_U$  e  $P_L$  (valori tabellati)
- Calcolo del PWL



Fattore di aggiustamento del prezzo del prodotto (*Pay Factor*)

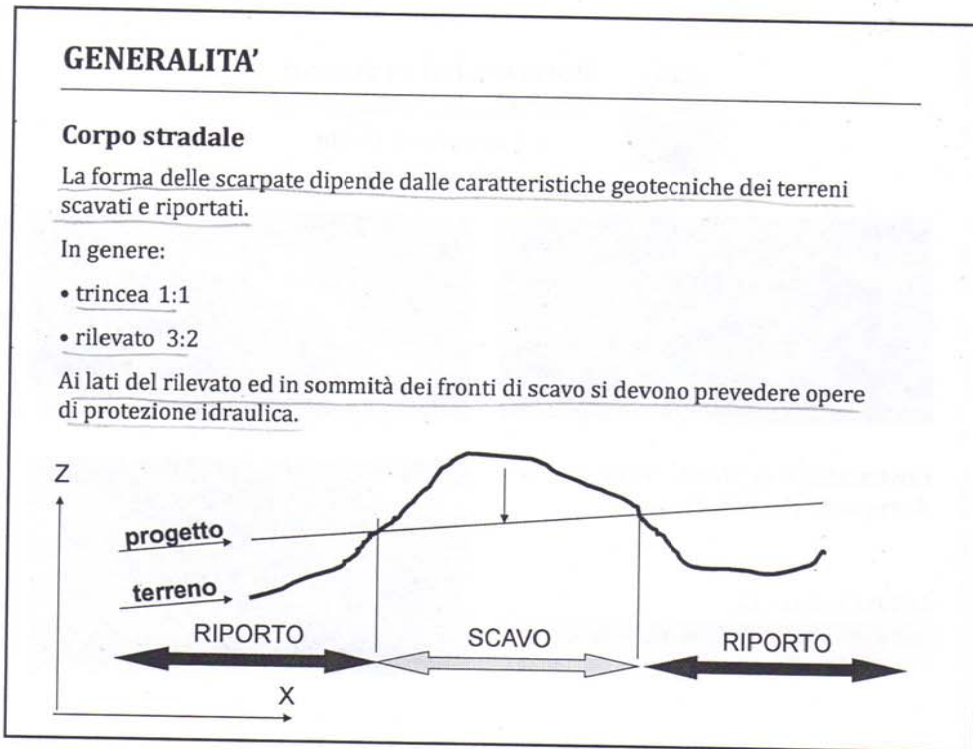
Dopo il PWL il direttore lavori valuta il risultato e agisce secondo le norme che appartengono al capitolato.

$PWL = 100\%$  CASO OTTIMALE

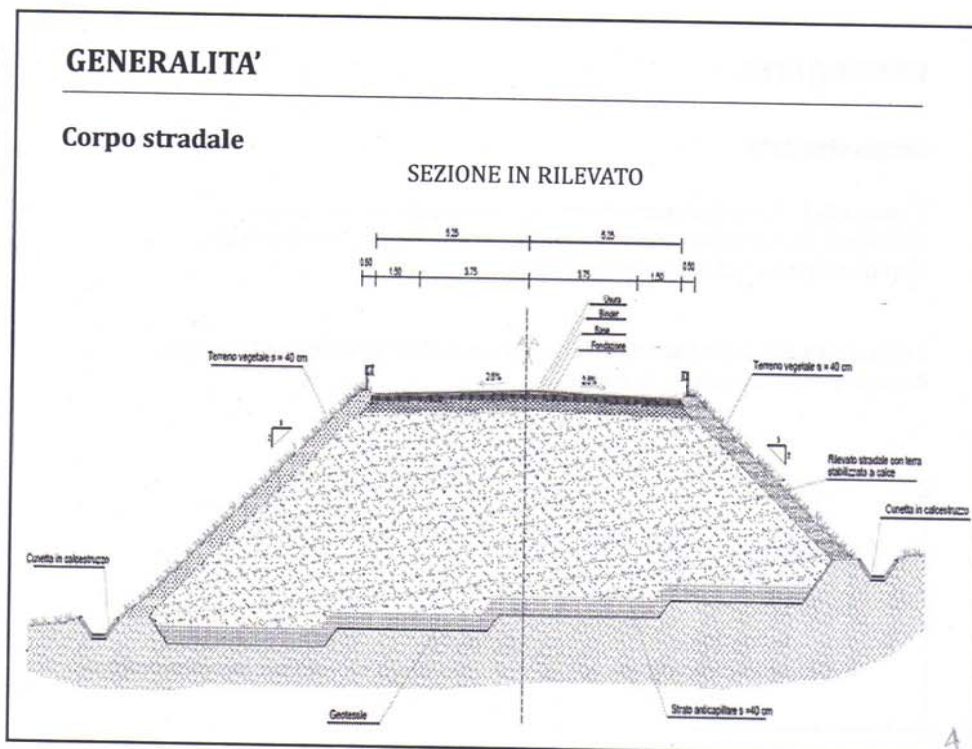
SE  $PWL \leq$  LIMITE  $\rightarrow$  PENALIZZO L'IMPRESA SECONDO IL CAPITOLATO

SE  $PWL \leq$  LIMITI INACCETTABILI (DOVE NON SI HA LA QUALITA' RICHIESTA)

$\downarrow$   
L'IMPRESA DEVE RIFARE L'OPERA



SEZIONI TIPO





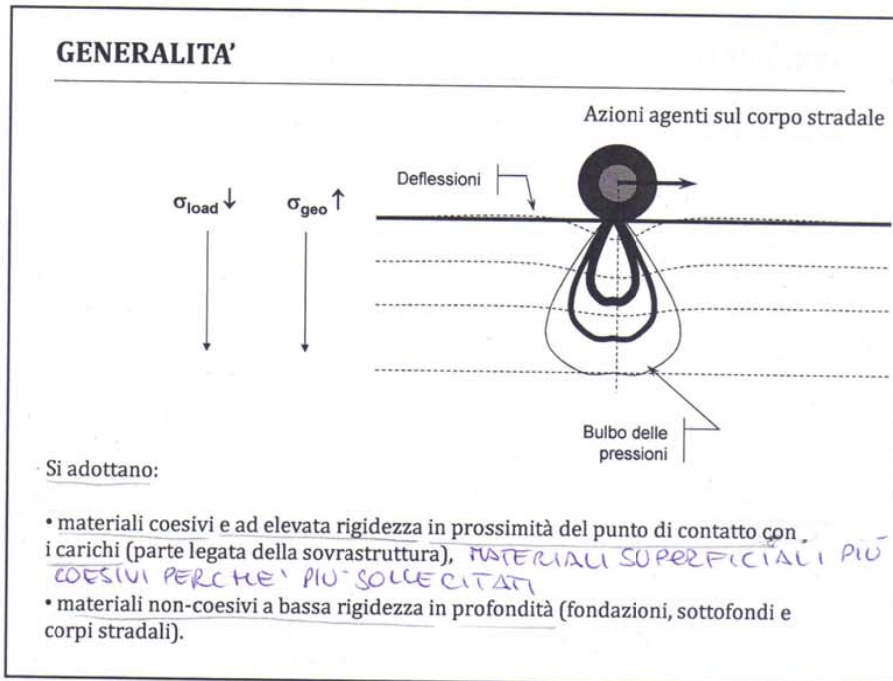
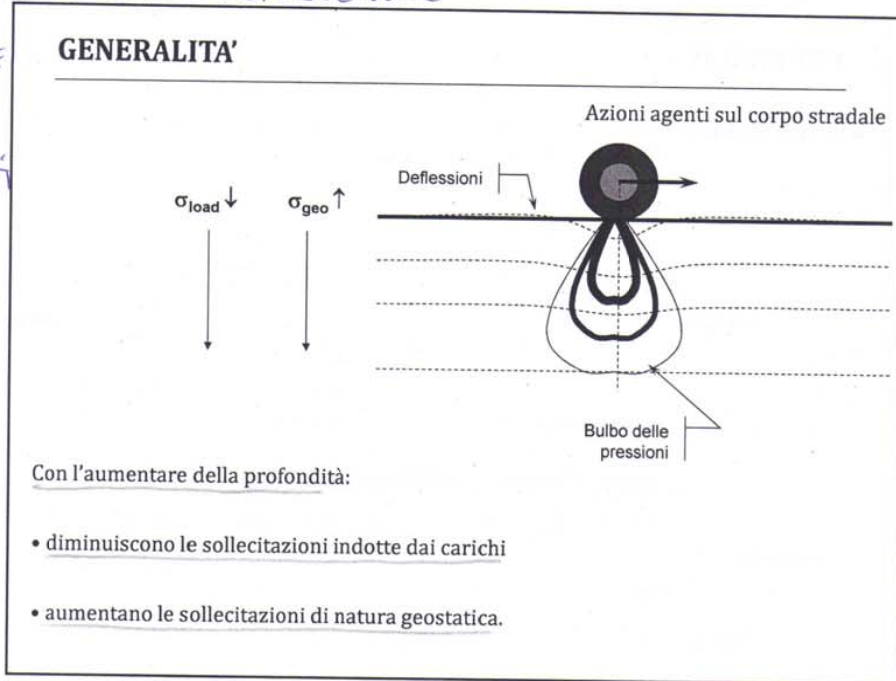
OGNI STRADA È DESTINATA AD ESSERE PERCORSA DA VEICOLI (LEGGERI O PESANTI) CHE TRASMETTONO DELLE AZIONI.

01/10/2013

PAVIMENTAZIONE STRADALE: STRUTTURA SU CUI AGISCONO DIRETTAMENTE GLI EFFETTI DEL MOTO DEI VEICOLI (ANCHE PER EFFETTO DEL PESO PROPRIO)

BULBO: ZONA CHE RACCOGLIE LE STESSA ISOSTATICHE, PUNTI CON LO STESSO CARICO TENSIONALE

IN CAMPO STRADALE LE TENSIONI GEOSTATICHE SONO MENO PESANTI RISPETTO ALLE AZIONI PRODOTTE DAI CARICHI.



LA SOVRASTRUTTURA È FORMATA DA PIÙ STRATI, ALCUNI LEGATI (CEMENTO O BITUME) E PIÙ COESIVI.

IL TERRENO NON È UN MEZZO CONTINUO PERCHÉ LE DIMENSIONI DELLE PARTICELLE VARIANO E RARAMENTE UN DEPOSITO HA LE PARTICELLE CON LO STESSO DIAMETRO: BISOGNA FARE UN ANALISI GRANULOMETRICA.

TRA LE CLASSI CI SONO PIÙ DI 3 ORDINI DI GRANDEZZA DI DIFFERENZA TRA LE SUPERFICIE SPECIFICHE

GHIAIA ↓  
 FORZE DI MASSA  
 ↓  
 LIMO  
 ↓  
 FORZE DI SUPERFICIE  
 (FORZE DI VAN DER WAALS)

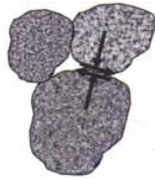
TERRE			
Classi dimensionali			
NON COESIVO/ GRANULARE	Caratteristiche		
	Diametro [mm]	Numero di grani per grammo	Superficie specifica [cm <sup>2</sup> /g]
Ghiaia	1 - 2	90	11,3
Sabbia grossa	0,50 - 1	722	22,7
Sabbia media	0,25 - 0,50	5.777	45,2
Sabbia fine	0,10 - 0,25	46.213	90,7
Sabbia molto fine	0,05 - 0,10	722.074	226,9
Limo	0,002 - 0,05	5.776.674	453,7
Argilla	< 0,002	90.260.853.860	11.343,5

↑

↓


COESIVO

FORZE DI MASSA (interazione meccanica)



↑

dimensioni



FORZE DI SUPERFICIE (interazione chimica)

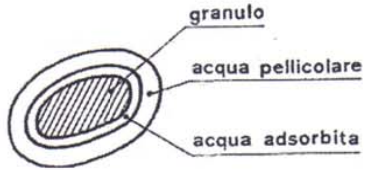
IL TIPO DI INTERAZIONE INFLUENZA IL RAPPORTO TRA TERRA ED ACQUA. LE PARTICELLE FINI SONO MOLTO SENSIBILI ALL'ACQUA, HANNO UNA BASSA PERMEABILITÀ MA UNA FORTE PRESENZA DI ACQUA ADSORBITA.

**TERRE**

**Interazione terra-acqua**

L'acqua presente in un ammasso in terra si divide in:

- **gravitazionale** - si colloca nei macropori di grande diametro, per cui le interazioni della matrice solida sulle molecole d'acqua sono deboli. Si tratta di acqua libera che non risente della tensione matriciale. *NIENTE LEGAME, È NEI PORI E SOGGETTA ALLA GRAVITÀ*
- **adsorbita** - riveste come una guaina la superficie del granulo ed è ad essa legata da interazioni di natura elettrostatica. *AVVOLGE LE PARTICELLE*
- **pellicolare** - forma una pellicola che riveste completamente quella di adsorbimento. *È UN CUSCINETTO TRA LE ALTRE DUE*



granulo

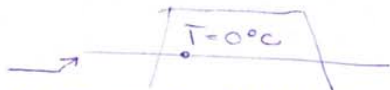
acqua pellicolare

acqua adsorbita

10

BISOGNA AVERE  $T = 0^{\circ}\text{C}$  DENTRO IL TERRENO (CHE W GENERA MA UNA CERTA RISERVA DI CALORE)

01/10/2013

PROFONDITA' DI PENETRAZIONE DEL GELO: →  MASSIMA PROFONDITA' A CUI  $T = 0^{\circ}\text{C}$  E NECESSITA DI RIMANERE PER MOLTO TEMPO

L'UMIDITA' NATURALE DENTRO AL TERRENO PASSA ALLO STATO SOLIDO E RICHIAMA L' $\text{H}_2\text{O}$  CAPILLARE CHE ACCRESCE LE LENTI DI GHIACCIO

NEI TERRENI GRANULARI NON HO LE LENTI PERCHE' NON HO FENOMENI DI CAPILLARITA'

## TERRE

### Problema del gelo - meccanismo di formazione delle lenti di ghiaccio

Le lenti di ghiaccio si formano in corrispondenza del piano situato alla profondità di penetrazione del gelo.

Se questo piano si mantiene costante per un tempo sufficientemente lungo, l'acqua non congelata che si trova al di sotto di questa profondità tende a migrare provocando l'accrescimento delle lenti stesse, per capillarità

#### Permeabilità del terreno:

- se troppo bassa impedisce il movimento dell'acqua per cui se la profondità di penetrazione del gelo si sposta più velocemente non vi è tempo sufficiente per far crescere la lente;
- se elevata, non si ha risalita capillare.

Pertanto, i fattori alla base del meccanismo di formazione delle lenti di ghiaccio sono:

- 1) temperature inferiori a  $0^{\circ}\text{C}$  per tempi sufficientemente lunghi;
- 2) disponibilità di acqua "in tensione" (ossia di risalita capillare);
- 3) terreno dotato di sufficiente permeabilità.

SE LA PERMEABILITA' E' MOLTO BASSA, IL TEMPO DI RISALITA SAREBBE TROPPO LUNGO (ANCHE ANNI).

## TERRE

CARATTERIZZARE UN MATERIALE SIGNIFICA FARE DELLE PROVE PER DETERMINARE ALCUNE GRANDEZZE

### Proprietà fisico-meccaniche

Il comportamento di una terra dipende quindi:

- dalla distribuzione delle dimensioni dei granuli che la compongono;
- dalla presenza dell'acqua e dalla sensibilità che i granuli costituenti manifestano nei suoi riguardi.

Su campioni "rappresentativi" delle terre da impiegare, si valutano le seguenti grandezze:

- percentuali delle classi dimensionali costituenti, ANALISI GRANULOMETRICA
- la sensibilità all'acqua, in particolare delle frazioni più fini. LIMITI DI ATTERBERG



PER I TERRENI NON COESIVI NON ESISTE LO STATO PLASTICO E POSSO AGGIUNGERE ACQUA SENZA MODIFICARE LE CARATTERISTICHE DEL TERRENO.  
TERRENI COESIVI = SPICCATO COMPORTAMENTO PLASTICO

01/10/2013

## TERRE

### Sensibilità all'acqua

Indice Plastico (Plastic Index)

$$IP (PI) = LL - LP$$

E' un indicatore della sensibilità all'acqua di un terreno.

Un terreno plastico (IP elevato) è molto sensibile alle variazioni del contenuto d'acqua.

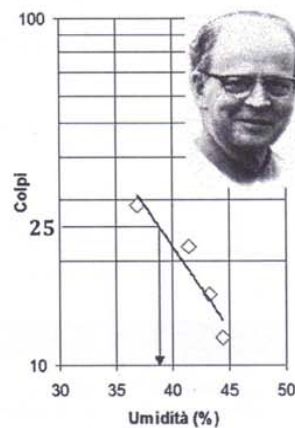
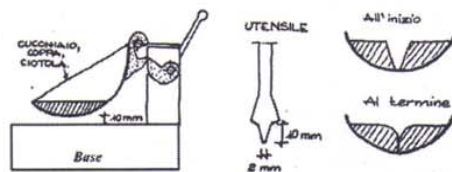
- Terreni a grana fine (limi-argille) = plastici
- Terreni a grana grossa (ghiaie-sabbie) = non plastici

## TERRE

### Limite liquido - metodi di misura

Le prove si eseguono sul materiale essiccato a non più di 50°C, disgregato con un pestello gommato e passante al setaccio da 0.425 mm.

**LL - Limite liquido** (metodo del cucchiaio di Casagrande)



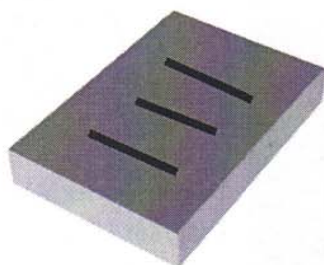
**VECCHIO METODO**

## TERRE

### Limite plastico- metodi di misura

Formazione di un cilindretto di 3 mm

Contenuto di umidità che porta il cilindretto a sbriciolarsi sotto l'azione rullante della mano.



VECCHIO METODO

## TERRE

### Limite plastico- metodi di misura

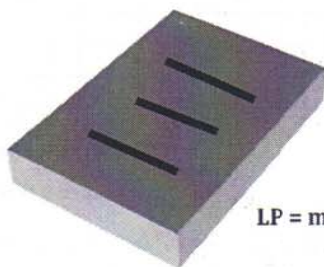
UNI CEN ISO/TS 17892-12:2005

20 grammi di materiale umido



*PRIMA SI FA UNA PALLINA,  
POI SI PRELEVANO 2  
CAMPIONI SEPARATI E SI FA  
LA MISURA (E LA LORO  
MEDIA)*

2 porzioni da 10 g (sub-campioni)



LP = media di due ripetizioni

NUOVO METODO



8 CLASSI E SOTTOCLASSI

- A<sub>1</sub> = GHIAIA
- A<sub>3</sub> = SABBIA MONOGRANULARE
- A<sub>2</sub> = SABBIA GHIAIOSA
- A<sub>8</sub> TORBE

NON COESIVI  
NON PASSANO IL 0,075mm

01/10/2013

**TERRE**

**Classificazione delle terre - sistema HRB (CNR - UNI 10006)**  
HIGHWAY RESEARCH BOARD.

Classificazione Generale	Terre ghiaio-sabbiose Frazione passante allo staccio 0,075 UNI 2332 ≤ 35%						Terre limo-argillose Frazione passante allo staccio 0,075 UNI 2332 > 35%				Torbe e terre organiche palustri	
	A1		A3	A2			A4	A5	A6	A7		A8
Gruppo	A 1-a	A 1-b		A 2-4	A 2-5	A 2-6	A 2-7				A 7-5	A 7-6
Analisi granulometrica												
Frazione passante allo staccio												
2 UNI 2332 %	≤ 50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,4 UNI 2332 %	≤ 30	≤ 50	> 50	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,075 UNI 2332 %	≤ 15	≤ 25	≤ 10	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≤ 35	> 35	> 35	> 35	> 35	> 35
Caratteristiche della frazione passante allo staccio 0,4 UNI 2332												
Limite liquido	-	-	≤ 40	> 40	> 40	≤ 40	> 40	≤ 40	> 40	≤ 40	> 40	> 40
Indice di plasticità	≤ 6	N.P.	≤ 10	≤ 10	≤ 10	> 10	> 10	≤ 10	≤ 10	> 10	> 10	> 10
Indice di gruppo	0		0	0			≤ 4	≤ 8	≤ 12	≤ 16	≤ 20	

- A<sub>4</sub> = LIMO
  - A<sub>5</sub> = LIMO ARGILLOSO
  - A<sub>6</sub> = ARGILLA LIMOSA
  - A<sub>7</sub> = ARGILLA
- } COESIVI

**TERRE**

**Classificazione delle terre - sistema HRB (CNR - UNI 10006)**

Gruppo	Sotto-gruppo	Tipi usuali dei materiali caratterizzanti il gruppo	Identificazione dei terreni in cantiere
A <sub>1</sub>	A <sub>1-a</sub>	Ghiaia o breccia, sabbia grassa, pomice, scorie vulcaniche, pozzolane	Facilmente individuabili
	A <sub>1-b</sub>		
A <sub>3</sub>		Sabbia fine	Aspri al tatto, incoerenti allo stato asciutto
A <sub>2</sub>	A <sub>2-4</sub>	Ghiaia o sabbia limosa o argillosa	La maggior parte dei granuli sono individuabili ad occhio nudo. Aspri al tatto. Una tenacità media o elevata allo stato asciutto indica la presenza di argilla
	A <sub>2-5</sub>		
	A <sub>2-7</sub>		
A <sub>4</sub>		Limi compressibili poco	Reagiscono alla prova di scuotimento, polverulenti o poco tenaci allo stato asciutto. Non facilmente modellabili allo stato umido
A <sub>5</sub>		Limi compressibili poco	
A <sub>6</sub>		Argille compressibili poco	Non reagiscono alla prova di scuotimento
A <sub>7</sub>	A <sub>7-5</sub>	Argille fortemente compressibili e fortemente plastiche	Tenaci allo stato asciutto, e facilmente modellabili in bastoncini sottili allo stato umido
	A <sub>7-6</sub>		
A <sub>8</sub>		Torbe di recente o remota formazione, detriti organici di origine palustre	Fibrosi di color bruno o nero, facilmente individuabili a vista

## TERRE

### Classificazione delle terre – sistema HRB (CNR – UNI 10006)

**Gruppo A<sub>3</sub>** Le sabbie di questo gruppo, specialmente quando presentano una frazione ghiaiosa (> 2mm) modesta, si prestano male al costipamento ed alla circolazione dei mezzi di cantiere, per mancanza di coesione e di portanza. Di norma l'impiego senza particolari accorgimenti è limitato alla realizzazione di bonifiche dei piani di posa dei rilevati e di strati anticapillari; terre di questo gruppo possono essere impiegate nella formazione del corpo del rilevato se presentano un coefficiente di uniformità (D<sub>60</sub>/D<sub>10</sub>) non inferiore a 7.

Per le sabbie a granulometria uniforme deve prevedersi, invece, o un trattamento con cemento, o una correzione granulometrica, ovvero entrambi i provvedimenti.

## TERRE

### Classificazione delle terre – sistema HRB (CNR – UNI 10006)

**Sottogruppi A<sub>2.4</sub> e A<sub>2.5</sub>** Le ghiaie e le sabbie limose a bassa plasticità di questi due sottogruppi sono convenientemente adoperate per la costruzione dei rilevati, peraltro senza difficoltà di esecuzione: la bassa plasticità (IP < 10) e la frazione fine non eccessiva (< 35%) permettono, infatti, di modificare facilmente il loro contenuto d'acqua.

Generalmente presentano bassa permeabilità e modesta risalita capillare: perciò non richiedono particolari provvedimenti per proteggere dal gelo lo strato di sottofondo (o sottofondazione) e la soprastante pavimentazione.

Tenuto conto della sensibilità all'umidità di costipamento e dei rapidi cambiamenti di consistenza della frazione fine al variare del contenuto d'acqua, i lavori vanno immediatamente sospesi quando l'umidità naturale superi significativamente quella ottimale di costipamento e quando le condizioni atmosferiche portino ad un incremento del contenuto d'acqua.

Per tali terre, pertanto, l'Impresa è tenuta ad adottare programmi operativi che permettano di contenere i periodi di sospensione dei lavori, procedendo:

- all'estrazione per strati suborizzontali, allorché si vogliano favorire le variazioni di umidità;
- all'estrazione frontale, nel caso contrario.

Quando la frazione fine non supera il 12 % e se non sono presenti elementi di grossa pezzatura (D > 71 mm) queste terre non presentano particolari problemi di costipamento.

USARE DEL MATERIALE DI BUONA QUALITÀ E CONDIZIONE NECESSARIA MA NON SUFFICIENTE PER AVERE UN MANUFATTO BUONO? 01/10/2013  
 BISOGNA GARANTIRE UN'OPPORTUNA MESSA IN OPERA (COMPATTAZIONE) PER AVERE BUONE PRESTAZIONI.  
 PERCHÉ IL COSTIPAMENTO PRODUCE ELEVATE QUALITÀ?

A) SE NON COMPATTO, NEL TEMPO FUI CREDITI PER PESO PROPRIO (UNIFORMI) E PER EFFETTO DEI CARICHI DINAMICI (MONTANTE, PIÙ PERICOLOSO).



### COSTIPAMENTO

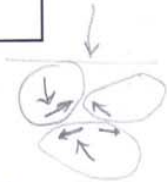
#### Obiettivi del costipamento

- A > evitare che, durante l'esercizio della strada, possano prodursi ulteriori assestamenti del materiale in opera per effetto dei carichi statici (permanenti), dovuti agli strati superiori del rilevato e della pavimentazione, e di quelli dinamici trasmessi dai veicoli;
- B > migliorare le caratteristiche meccaniche della terra posta in opera (angolo di resistenza a taglio  $\phi$ , essenzialmente), per soddisfare i requisiti richiesti in fase di costruzione (sufficiente rigidità di ogni strato, per poter compattare correttamente quello soprastante) e quelli volti ad assicurare la stabilità del manufatto in terra durante l'esercizio;
- C > ridurre l'influenza dell'acqua sull'opera in terra, dato che la diminuzione della porosità la rende meno permeabile e meno erodibile.

B) CON IL COMPATTAMENTO AUMENTANO LE PROPRIETÀ MECCANICHE PERCHÉ DIMINUISCE L'INDICE DEI VUOTI ED AUMENTA LA DENSITÀ.

RIDUCENDO L'INDICE DEI VUOTI, AVVICINIAMO PARTICELLE ED AUMENTA L'AREA DEGLI ELEMENTI SOLIDI SOGGETTI AL CARICO.

AUMENTANDO LA COMPATTAZIONE, AUMENTA L'AREA DEL MATERIALE, I GRANII SENTONO UNA MINORE PRESSIONE E MIGLIORANO LE PROPRIETÀ MECCANICHE.



C) TERRENO MOLTO COMPATTO, È MOLTO MENO POROSO, MINORE PERCENTUALE DI ACQUA NEL TERRENO

### COSTIPAMENTO

#### Descrizione del fenomeno

La riduzione della porosità che si accompagna all'addensamento dei grani è legata, in gran parte, a

- espulsione dell'aria contenuta nel volume di terra,
- migrazione dell'acqua (anche se modesta, dato che il costipamento, contrariamente alla consolidazione, è un fenomeno rapido, nel corso del quale il tenore d'acqua della terra varia poco)
- compressione dell'aria interna che non può essere espulsa (specialmente per le terre argillose) AIRA OCCLUSA, CONTENUTA DENTRO I PORI MOLTO PICCOLI DA NON RIUSCIRE AD ESTENDERSI E L'ARIA ENTRA IN PRESSIONE

FATTORI CHE INFLUENZANO IL COSTIPAMENTO:

1. Tipo di terreno ( $A_r$ )
2. Contenuto d'acqua ( $w$ )
3. Energia di costipamento ( $E$ ) ENERGIA CHE APPLICHIAMO AL TERRENO
4. Modalità di costipamento
5. Spessore dello strato e rigidità del supporto

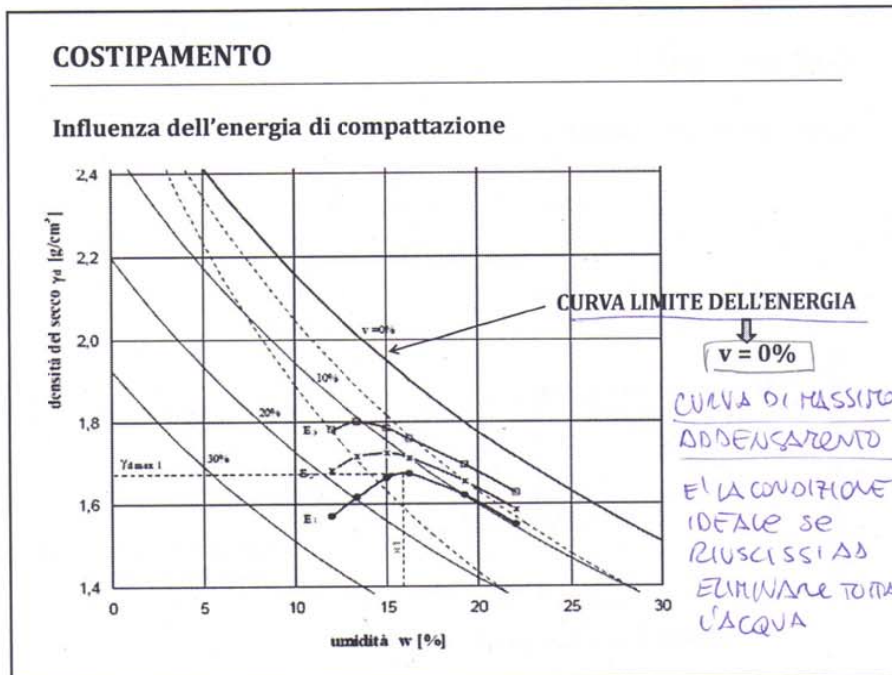
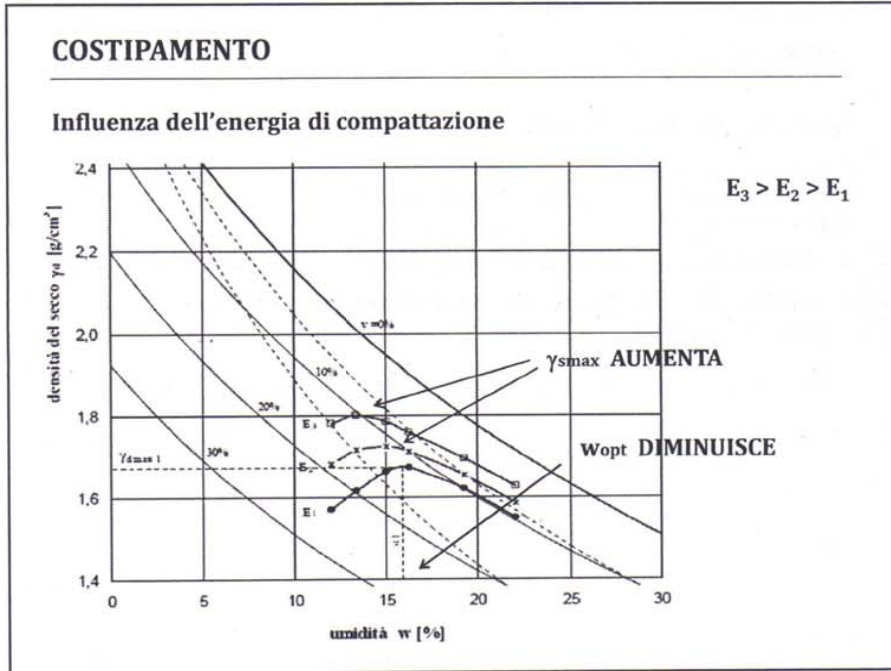


E' IMPORTANTE USARE LA STESSA ENERGIA.  
CAMBIANDO L'ENERGIA, LA CURVA SI SPOSTA.

se  $\gamma_{max}$  AUMENTA,  $w_{opt}$  DIMINUISCE

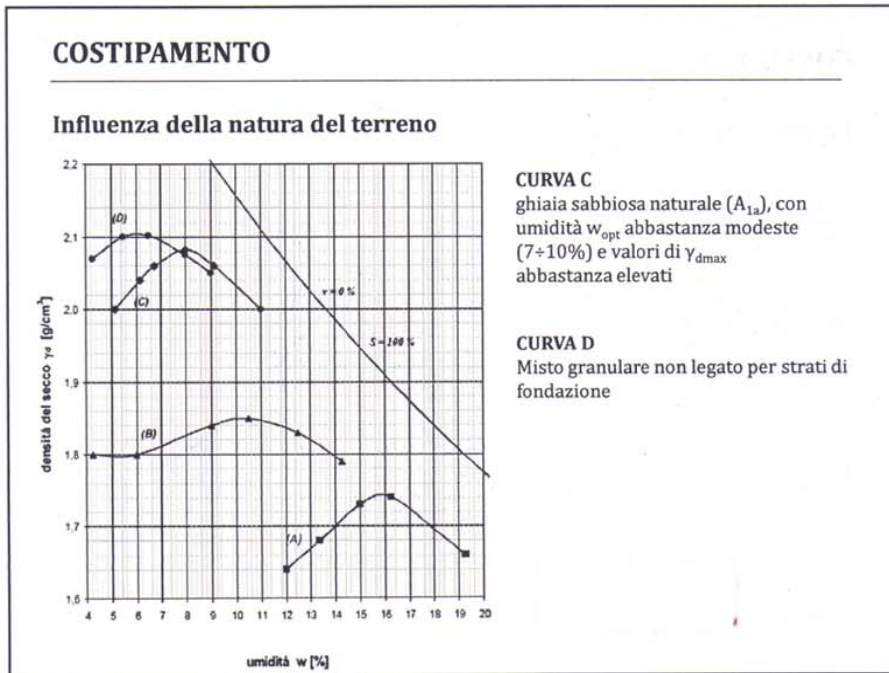


01/10/2013



OLTRE LA CURVA  $v = 0$  NON HO EQUILIBRIO, ZONA NON RAGGIUNGIBILE.

01/10/2013



DACCO STUDIO PROCTOR : -  $w_{opt}$   
- FONTE CAMPANA  
-  $\gamma_{smax}$ , serve per collocare la densità secca IN SITO

$\gamma_{sITO} \geq 95\% \gamma_{smax}$

### COSTIPAMENTO

#### Curva di costipamento Proctor

La forma della "campana" fornisce importanti indicazioni circa la suscettività all'acqua della terra e la facilità o meno con cui questa può essere costipata

- curve a campana molto pronunciate (com'è il caso dei terreni fini argillosi) indicano che il terreno è difficile da compattare e che si avranno seri problemi, se l'umidità naturale della terra risulta diversa da quella ottimale, anche di pochi punti, specialmente se in eccesso.
- curve di costipamento appiattite denotano, invece, una buona compattabilità della terra (gamma estesa di umidità convenienti).

Riguardo alla posizione dell'umidità in situ  $w_n$  rispetto a  $w_{opt}$  si può considerare che:

- se è  $w_n \leq w_{opt}$ , generalmente, non si avranno grossi problemi (eccetto che per i terreni molto fini) per il costipamento, dato che è possibile riportare  $w_n \approx w_{opt}$ , per umidificazione (innaffiando i terreni);
- se è  $w_n > w_{opt} + \Delta w$ , in modo abbastanza netto (cioè con  $\Delta w > 2\%$ ), il costipamento sarà tanto più difficile e delicato quanto maggiore è la presenza di fango nella terra.

LA MODA DI COSTIPAMENTO VIENE FATTA CON UNA FUNZIONE CIRCOLARE ODE GLI STANDARD SONO FUNZIONE DEL TIPO DI TERRENO.

01/10/2013

## COSTIPAMENTO

### Prova Proctor - procedura sperimentale

Quantitativo di materiale per le 5 determinazioni:

- 15 kg per lo stampo piccolo
- 36 kg per quello grande

#### Procedura:

- essiccamento a 50°C e disgregazione;
- vagliatura al crivello da 25 mm (se il trattenuto è superiore al 35 % della massa totale non si può eseguire la prova);
- scelta tra stampo piccolo e stampo grande (quello piccolo quando il passante al 25 mm è tutto passante al 5 mm - n.4 ASTM);
- formazione dei singoli campioni (contenuti di acqua variabili tra loro del 2%);
- maturazione in contenitori a tenuta d'aria per almeno 12 h.

LE TERRE FORTIFICANO IL CORPO STRADALE E SARANNO SOGGETTE AD AZIONI ESTERNE, SPECIALMENTE AL MOVIMENTO DEI VEICOLI CHE TRANSITANO. NEL GENERICO PUNTO SI HA UNA VARIAZIONE DELLE TENSIONI PER INTENSITA' E DIREZIONE

SE IL VEICOLO E' LONTANO DAL PUNTO, ESSO NON RISENTIRA' DEL SUO EFFETTO.

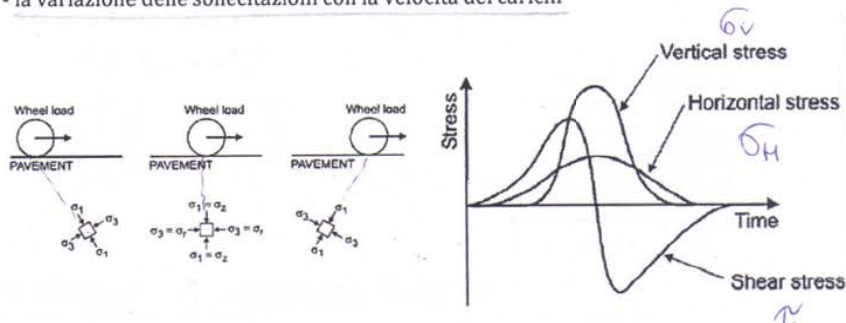
IL PUNTO AVRA' TENSIONE MASSIMA QUANDO IL CARICO E' SOPRA.

## MECCANICA DELLE TERRE

### Comportamento meccanico delle terre

Con il movimento del carico si verifica:

- la rotazione dei piani principali (su cui giacciono le tensioni principali)
- la variazione delle sollecitazioni in funzione del tempo
- la dipendenza della risposta elastica dallo stato di sollecitazione
- la variazione delle sollecitazioni con la velocità dei carichi





CAMPIONE CILINDRICO, REALIZZATO CON LA PROVA PROCTOR (PRECALCATO).

01/10/2013

**METODO CBR (California Bearing Ratio) - METODO EMPIRICO -**

Norma CNR UNI 10009

**APPARECCHIATURA DI PROVA**

Fustella D = 152,4 mm, h = 177,8 mm  
Disco spaziatore = 61,3 mm



**PREPARAZIONE DEI PROVINI**

1. Essiccazione (T < 50°C) e disgregazione del materiale
2. Vagliatura al crivello 25 UNI (%P < 65%)
3. Umidificazione (Wopt se rilevato, Wopt e Wnat se trincea)
4. Inserimento del disco spaziatore e costipamento del materiale in strati (AASHTO standard o modificata)
5. Rasatura, rovesciamento del campione e rimozione del disco

SI SOTTOPONE IL CAMPIONE ALL'AZIONE DI UN PISTONE e sulla sommità c'è un DISCO CON FORO PER ESERCITARE UN'AZIONE DI CONFINAMENTO LATERALE.  
(P<sub>2,5</sub>, P<sub>5</sub>) SONO VALORI CARATTERISTICI → CBR è IL MASSIMO DEI 2 VALORI

CBR INDICE BASATO SUL CONFINAMENTO, È L'INDICE CONVENZIONALE DI PORTANZA DEI TERRENI.

CBR = 12, IL TERRENO PRESENTA UNA CAPACITÀ PORTANTE PARI AL 12% DELLA CAPACITÀ PORTANTE DEL TERRENO DI RIFERIMENTO.

**METODO CBR (California Bearing Ratio)**

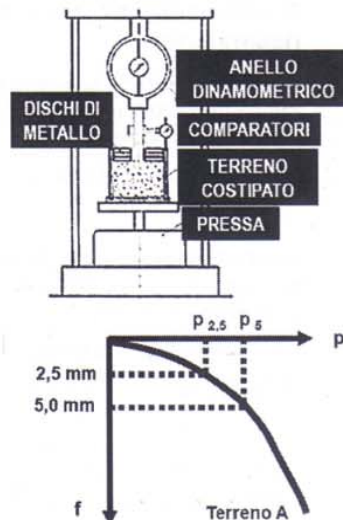
**ESECUZIONE DELLA PROVA**

1. Si pone lo stampo nella pressa
2. Si inserisce il sovraccarico
3. Si applica il carico imponendo una velocità di avanzamento pari a 1,27 mm/min
4. Lettura della pressione applicata corrispondente ai cedimenti: 0,5, 1, 1,5, 2, 2,5, 3, 4, 5, 7 e 9 mm

CON ANELLO DINAMOMETRICO

$$CBR = \max \left( \frac{100 \cdot P_{2,5mm}}{P_{RIF-2,5mm} (70kg/cm^2)}, \frac{100 \cdot P_{5mm}}{P_{RIF-5mm} (105kg/cm^2)} \right)$$

↓  
APPROCCIO EMPIRICO



IL VALORE È L'INDICE CBR, MAGGIORI SONO LE CARATTERISTICHE DEL TERRENO

$$\epsilon_{TOT} = \epsilon_{PERMANENTE} + \epsilon_{RESILIENTE}$$

01/10/2013

la  $\epsilon_{res} \approx \epsilon_{ELASTICA}$  MA IL SUO COMPORTAMENTO È RESILIENTE PERCHÉ NON TUTTA LA DEFORMAZIONE SI RECUPERA

QUANDO FACCO 100 CICLI DI CARICO/SCARICO

$\epsilon_p$  SI ASSESTA

AD UN VALORE FISSO FINALE

$\epsilon_p$  DIMINUISCE

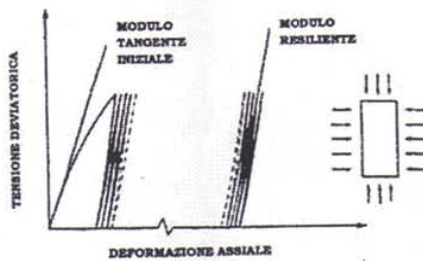
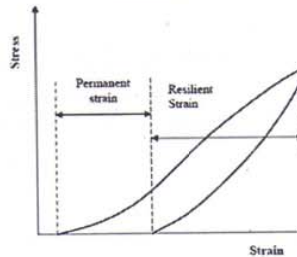
AL CRESCERE DEL NUMERO DI CICLI

$\epsilon_{p1} > \epsilon_{p2} > \epsilon_{p3} \dots$

↓  
MATERIALE PSEUDO ELASTICO/RESILIENTE

### MODULO RESILIENTE - APPROCCIO RAZIONALE -

La risposta deformativa dei materiali non legati sotto carichi ciclici è caratterizzata da una componente recuperabile (**resiliente**) ed una componente residua (**permanente**)



Al crescere delle sollecitazioni cicliche la componente visco-plastica diminuisce e quella resiliente si assesta su un valore costante (deformazione elastica)

$\epsilon_p \downarrow$      $\epsilon_R \rightarrow$  COSTANTE

NELLA GEOTECNICA CLASSICA → S.L.U., ROTURA

NELLA GEOTECNICA STRADALE → S.L.E., NATURA DELLE SOLLECITAZIONI INFERIORI, CONSIDERO I CARICHI VELOCARI (CICLICI)

### MODULO RESILIENTE

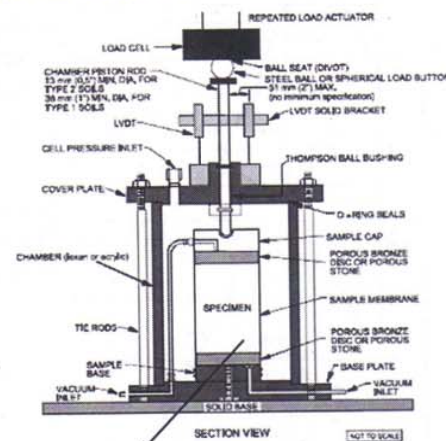
#### Prove in cella triassiale a carico ripetuto (AASHTO T294) ENTRATA IN ADOTTAZIONE (USA)

La prova simula il regime tensodeformativo che si verifica in situ al passaggio dei veicoli

#### APPROCCIO RAZIONALE

Due regimi di confinamento

- Constant Cell Pressure (CCP)
- Variable Cell Pressure (VCP)



CAMPIONE SNELLO (H = 2D)

ATTRAVERSO UNA PRESSIONE IDRAGICA/PNEUMATICA APPLICATA DA PRESSIONE LATERALE.

CCP = PRESSIONE DI CONFINAMENTO COSTANTE

VCP = PRESSIONE DI CONFINAMENTO VARIABILE

01/10/2013

$\epsilon_1, \epsilon_3$  VARIANO  
NEL TEMPO CON  
LEGGE IMPULSIVA.

CONSIDERO  
ANCHE L'EFFETTO  
DI POISSON.

### MODULO RESILIENTE

Prove in cella triassiale a carico ripetuto  
(AASHTO T294)

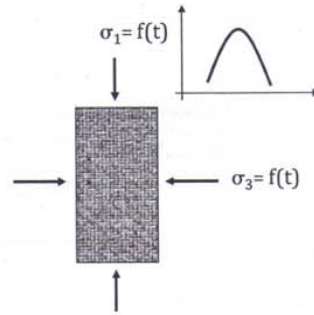
#### MODULO RESILIENTE

Descrive il comportamento resiliente dei  
materiali granulari

Può essere utilizzato nella progettazione  
delle pavimentazioni flessibili

E' espresso dal rapporto tra la  
tensione deviatorica e la  
deformazione elastica verticale

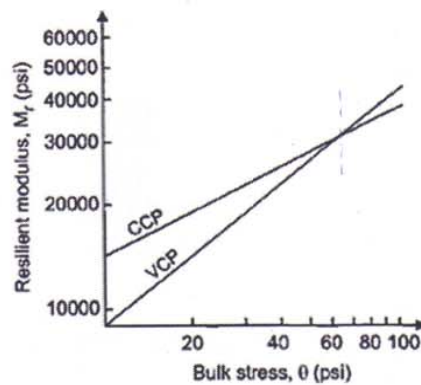
$$M_R = \frac{\sigma_d}{\epsilon_{1,r}} = \frac{\sigma_1 - 2\nu\sigma_3}{\epsilon_{1,r}}$$



CONFINAMENTO VARIABILE  
(VCP)

### MODULO RESILIENTE

Prove in cella triassiale a carico ripetuto  
(AASHTO T294)



CCP > VCP ED ENTRO CERTI LIMITI  
DELOSTATO TENSIONALE  
SOPRASTIWO IL MODULO  
RESILIENTE.

PROVE VCP POCO  
DIFFUSE X' MANCA LA  
TECNOLOGIA ↓  
FACCIO PROVE CPT.



01/10/2013

IL COMPORTAMENTO DEI TERRENI È NON LINEARE (NEL GRAFICO LE SCALE SONO LOGARITMICHE) PERCHÉ QUESTO NON È L'ANDAMENTO  $(\sigma_1, \epsilon)$ .

$M_R$  DIPENDE DALLO STATO TENSIONALE, QUINDI NON È COSTANTE

$M_R$  AUMENTA ALL'AUMENTARE DELLO STATO TENSIONALE, IL TERRENO È CONFINATO ED AUMENTA LA SUA RIGIDEZZA.

### MODULO RESILIENTE

#### MODULO RESILIENTE - Modelli

##### Terreni granulari

Hicks - Monismith modello  $k-\theta$

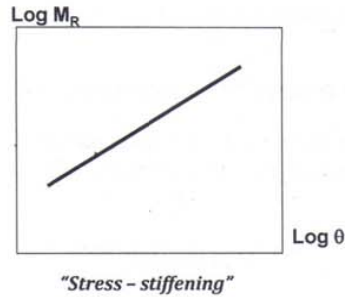
$$M_R = k_1 \theta^{k_2}$$

$$\theta = \sigma_1 + 2\sigma_3 \quad \text{primo invariante}$$

Uzan - 3 PARAMETRI -

$$M_R = k_1 (\theta^{k_2}) (\sigma_d)^{k_3}$$

$$\sigma_d = \sigma_1 - \sigma_3 \quad \text{sforzo deviatorico}$$



SCEGLIAMO IL MODELLO CHE MEGLIO DESCRIVE I DATI SPERIMENTALI.

### MODULO RESILIENTE

#### MODULO RESILIENTE - Modelli

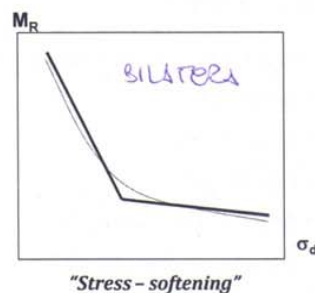
##### Terreni fini coesivi

Thompson - Elliott

$$M_R = k_1 + k_3 (k_2 - \sigma_d) \quad \text{con } \sigma_d < k_2$$

$$= k_1 + k_4 (k_2 - \sigma_d) \quad \text{con } \sigma_d > k_2$$

MODELLO A 4 PARAMETRI



Se  $M_R$  DIMINUISCE È PERCHÉ È AUMENTATA  $\sigma_d$

$(k_1, k_2)$  COORDINATE DEL VERTICE

$(k_3, k_4)$  PENDENZA DEI TRATTI

A NOI INTERESSANO GLI S.L.E.  
UNA PAVIMENTAZIONE E' PIU' PORTANTE DI UN'ALTRA QUANDO,  
A PARITA' DI CEDIMENTO, SOPPORTA UN CARICO MAGGIORE  
LA PROVA CBR E' UN INDICE DI PORTANZA.

01/10/2013

## PORTANZA

La **capacità portante** di un piano è l'attitudine a sopportare, senza apprezzabili cedimenti, le sollecitazioni trasmesse dai carichi stradali.

Si definisce **portanza** il carico specifico (P), determinato attraverso opportune procedure di prova, che provoca un prefissato cedimento ( $\delta$ ).

LA PORTANZA SI MISURA IN SITU.

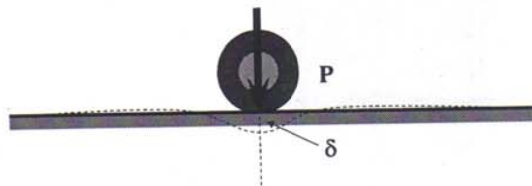
Metodi di misura in situ

### • Empirici

- Carico su piastra
- Trave Benkelmann

### • Razionali

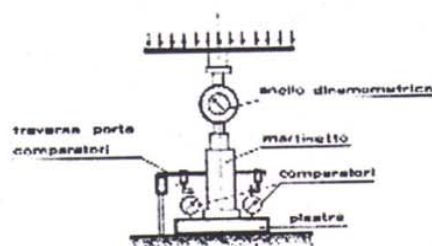
- Deflettometro a bassa battente (FWD)
- Piastra dinamica leggera (LWDT)



APPLICO UN CARICO SUL TERRENO ATTRAVERSO UNA PIASTRA METALLICA  
CIRCOLARE TRAMITE UN MARTINETTO IDRAULICO.

## PORTANZA

### Prova di carico su piastra



### APPARECCHIATURA

- Piastra metallica
- Martinetto con manometri
- Comparatori centesimali (generalmente 3)



**PORTANZA**

---

**Prova di carico su piastra** *PROVE FATTE SU DIVERSI STRATI*

Le misure di portanza riguardano

- il piano di posa dei rilevati
- gli strati del rilevato

} **Finalità di controllo**, *CONTROLLARE CHE SIA STATO ESEGUITO BENE*

- il sottofondo (rilevato e trincea)
- lo strato di fondazione (pavimentazione)

} **Finalità di controllo**  
**Progetto della sovrastruttura**  
*PRENDO I DATI DELLA CAPACITÀ PORTANTE PER CALCOLARE LA PAVIMENTAZIONE.*

**PORTANZA** *COME INTERPRETO I DATI?*

---

Il comportamento sotto carico del terreno può essere descritto facendo riferimento a due principali modelli

**IPOTESI DI BOUSSINESQ**

→ Il terreno viene considerato come un semispazio elastico, omogeneo ed isotropo

$$p = \frac{E}{1-\nu^2} \frac{2\delta}{\pi \cdot r}$$

*FORMULA CHE LEGA LA PRESSIONE AL CEDIMENTO E RILAVO (E)*

**IPOTESI DI WINKLER**

→ Il terreno viene considerato come un letto di molle tra loro indipendenti a comportamento elastico

$$p = k \cdot \delta$$

*k = COSTANTE USI WINKLER / DI REAZIONE*



01/10/2013

**PORTANZA**

**Prova di carico su piastra (sottofondo e/o fondazione)**

Pavimentazione rigida  
 E' caratterizzata da una elevata capacità di distribuzione dei carichi

↓

**Campo di Winkler/Westergaard**

Per caratterizzare il terreno si utilizzano piastre di grande diametro  
 (generalmente  $D = 76 \text{ cm}$ ) *PROSSIONE SU UNA GRANDE AREA*

Valutazione della **costante di reazione** da confrontare con quella assunto in progetto

↓

$$k = \frac{\Delta p}{\Delta s} = \frac{0,07 \text{ kPa}}{\delta_f - \delta_i}$$

*POTREI ANCHE RILAVARE E MA NON SAREBBE RAPPRESENTATIVO*

**PORTANZA** *PER SOLE FINALITA' DI CONTROLLO.*

**Norma CNR n. 146/1992**

$$M_d = \frac{\Delta p}{\Delta \delta} \cdot D$$

Prova con piastra da  $D = 30 \text{ cm}$

↓

**Modulo di deformabilità o compressibilità** ⇒ **Mere finalità di controllo**  
 (applicabile a tutte le parti costituenti il corpo stradale)

*$M_d \neq E$ ,  $M_d$  è 1 PARAMETRO CONVENZIONALE.*

CORRELAZIONE PROVE LABORATORIO - IN SITO

- 1)  $E = (1,8 \div 2,1) M_d$
- 2)  $E = 10 \text{ CBR}$

*CBR = 12, E = 120 MPa*

CARICELLO TRAMINATO CON UN PESO, SOTTO IL CARICO FACENDO CADERE IL PESO SULLA PIASTRA (POSTA A CONTATTO CON LA PAVIMENTAZIONE)

01/10/2013

GEOFONI: MISURANO L'ACCELERAZIONE VERTICALE SUBITA DA UN PUNTO LA PRIMA PIASTRA, PER EFFETTO DELLE MOLLE, TRASMETTE IL CARICO SULLA PIASTRA A CONTATTO CON LA PAVIMENTAZIONE.

$P_{max}$  E' VALUTATO DA UN BILANCO ENERGETICO

HO UN 2° PICCO NEL GRAFICO PERCHE' LA MASSA RITORNA

RILEVO IL BACINO DI DEFLESSIONE GRAZIE AI GEOFONI E RILEVO LE CARATTERISTICHE MECCANICHE DEL TERRENO.

**PORTANZA**

**Deflettometro a massa battente FWD (Falling Weight Deflectometer)**

$Mgh = \frac{1}{2}k \cdot x^2 \quad x = \sqrt{\frac{2Mgh}{k}}$

$P_{max} = k \cdot x$

$P_{max} = \sqrt{2Mghk} = p_{max} \cdot \pi \cdot a^2$

MASSA STANDARD PER I CONTROLLI

Geofoni distanti tra loro 30cm

Bacino di Deflessione

BACK-CALCULATION

USO UN PROGRAMMA PER DEFINIRE UN MODELLO ELASTICO LINEARE ED IL SISTEMA, IN MODO ITERATIVO, CALCOLA I VALORI DI  $E_1, E_2, \dots, E_n$  CHE DANNO LUOGO AD UN BACINO DI DEFLESSIONE PIU' VICINO A QUELLO MISURATO.

$d_{ci}$  = DEFLESSIONE CALCOLATA  
 $d_{mi}$  = DEFLESSIONE MISURATA

RIPETO IL PROCESSO FINCHE' NON OTTENGONO

**RMS** BASSO. (1%)

RMS = SOSTO QUADRATICO MEDIO.

**PORTANZA**

**Deflettometro a massa battente FWD (Falling Weight Deflectometer)**

Le caratteristiche meccaniche del sottofondo ( $E_s$ ) o della pavimentazione ( $E_i$ ) vengono ricavate a partire dal bacino di deflessione e nota la stratigrafia del sistema attraverso una procedura di **Back-calculation**.

Confronto tra bacino misurato e bacino calcolato:

$$RMS(\%) = 100 \cdot \sqrt{\frac{1}{9} \sum_{i=1}^9 \left( \frac{d_{ci} - d_{mi}}{d_{mi}} \right)^2}$$

APPROFONDIMENTI NELLA PARTE RELATIVA ALLE PAVIMENTAZIONI (CONTROLLI STRUTTURALI)

Distanza radiale [cm]

Deflessione [ $\mu m$ ]

$P_{max} = 123 \text{ kN}$   
 $RMS = 1,09\%$

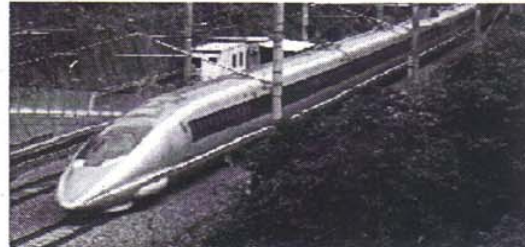
$P_{max} = 166 \text{ kN}$   
 $RMS = 1,09\%$

$P_{max} = 239 \text{ kN}$   
 $RMS = 1,00\%$

— Bacino misurato  
 - - - Bacino calcolato (basso carico)  
 - - - Bacino calcolato (medio carico)  
 - - - Bacino calcolato (alto carico)



**POLITECNICO DI TORINO**  
**Corso di Laurea Magistrale**  
**in Ingegneria Civile**  
a.a. 2013-14



**Costruzione di Strade, Ferrovie ed Aeroporti (03ALVMX)**



**CORPO STRADALE**

4 Costruzione del corpo stradale

REGOLE TECNICHE DA SEGUIRE PER LA REALIZZAZIONE DI RILEVATI STRADALI SECONDO LA REGOLA DELL'ARTE

## **COSTRUZIONE DEL CORPO STRADALE**

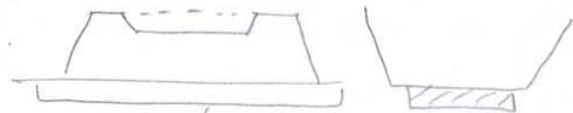
Il corpo stradale si realizza attraverso movimenti di materie con l'apertura di trincee e la costruzione di rilevati.

Si distinguono nei movimenti di materie le seguenti lavorazioni: *FASI WORKING TECHNOLOGICAL*

- SMACCHIAMENTO GENERALE
- SCOTICAMENTO e RIMOZIONE DEL TERRENO VEGETALE
- SCAVI DI SBANCAMENTO (apertura della sede stradale in trincea, predisposizione dei piani di appoggio dei rilevati e per le opere di pertinenza stradali) *COMPRESSE DIVERSE LAVORAZIONI*
- FORMAZIONE DEI RILEVATI - SOTTOFONDO
- RIEMPIMENTI O RINTERRI IN GENERE



CASSONETTO: PARTE DEL RILEVATO / TRINCEA CHE DEVE OSPITARE LA SEDE STRADALE.



## COSTRUZIONE DEL CORPO STRADALE

### SCAVI DI SBANCAMENTO

IL RILEVATO NON APPoggIA SUL TERRENO NATURALE.

LO SCALO DELLA STRADA E' LA PROFONDITÀ DELLA PAVIMENTAZIONE

Riguardano

- l'apertura della sede stradale, dei piazzali e delle pertinenze in trincea secondo i disegni di progetto e le particolari prescrizioni che può dare la Direzione Lavori in sede esecutiva;
- la formazione dei cassonetti, per far luogo alla pavimentazione ed all'eventuale bonifica del sottofondo stradale in trincea;
- la bonifica del piano di posa dei rilevati, ivi compresa la formazione delle gradonature previste in progetto, nel caso di terreni con pendenza generalmente superiore al 15%;
- lo splateamento del terreno per far luogo alla formazione di piani di appoggio, platee di fondazione, vespai, orlature e sottofasce;

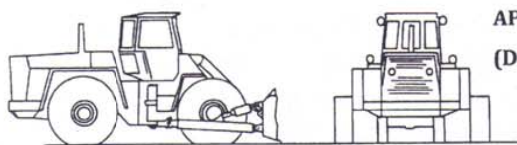


LO SPessore DEL CASSONETTO E' LO SPessore DELLA PAVI.

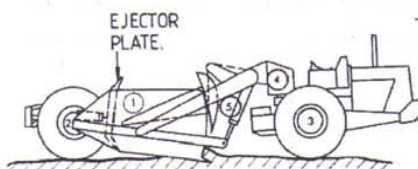
MOVIMENTO TERRA: RUOLO FONDAMENTALE PER VOLUMI E COSTI.

## COSTRUZIONE DEL CORPO STRADALE

### MACCHINE MOVIMENTO TERRA (SCAVO, CARICO, TRASPORTO)

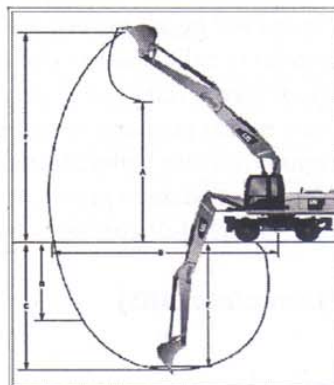


APRIPISTA (DOZER)



RUSPA (MOTO-SCRAPER) POCA DIFFUSA IN IT.

ESCAVATORE



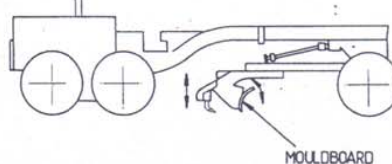
PALA CARICATRICE



DUMPER



LIVELLATRICE (GRADER)

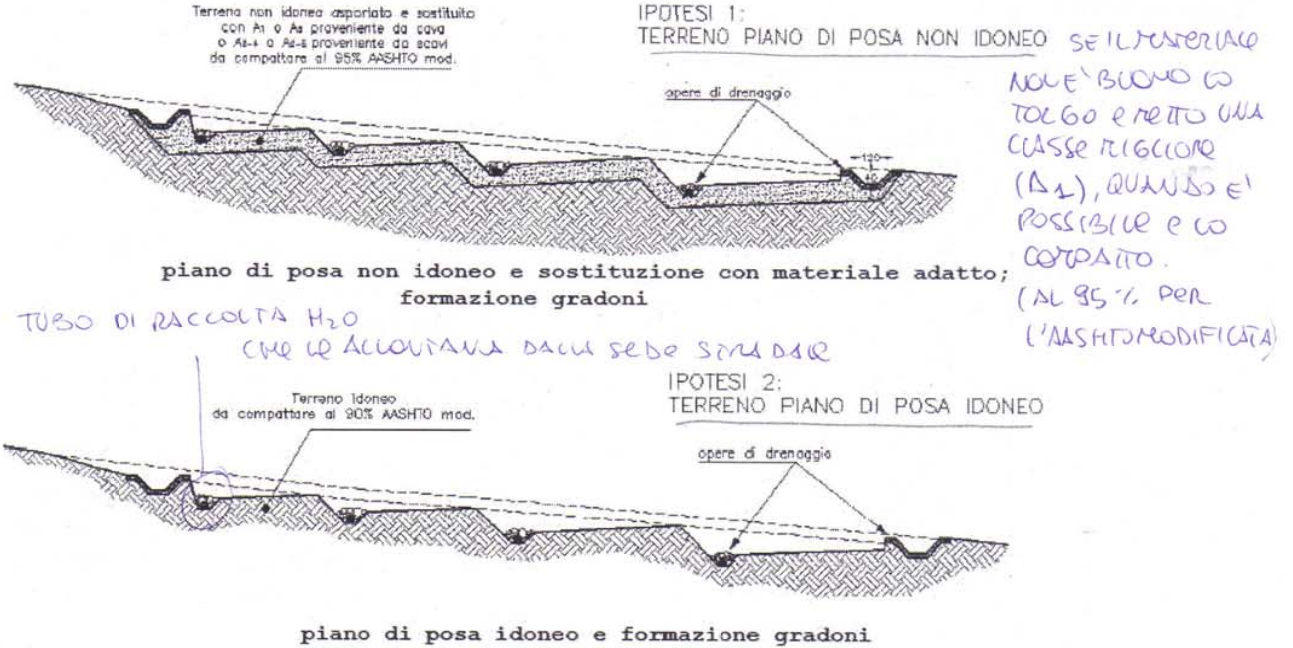


MOULDBOARD

- I GRADONI GARANTISCONO UNA MAGGIORE STABILITÀ AL RILEVATO ED EVITANO LO SCORRIMENTO SUPERFICIALE.
- IL PIANO DEI GRADONI HA UNA PENDENZA OPPOSTA ALLA PENDENZA NATURALE PER MIGLIORARE LA QUALITÀ DEL RILEVATO ED EVITARE LO SCORRIMENTO.

## COSTRUZIONE DEL CORPO STRADALE

### PIANO D'APPOGGIO DEI RILEVATI - **Gradonatura** NECESSARIO SE $P > 15\%$



I CEDIMENTI SONO PROVOCATI DAL PESO DEL RILEVATO E SE SONO NOTEVOLI PROVOCANO INSTABILITÀ.

VOGLIO CHE IL CEDIMENTO RESIDUO SIA < DEL 10% DEL CEDIMENTO STIMATO

## COSTRUZIONE DEL CORPO STRADALE

e NON SUPERIORE A 5 cm.

### PIANO D'APPOGGIO DEI RILEVATI - **Terreni cedevoli**

Quando siano **prevedibili cedimenti eccedenti i 15 cm** dei piani di posa dei rilevati, l'Impresa deve prevedere nel piano dettagliato un programma per il loro controllo ed il monitoraggio per l'evoluzione nel tempo. La posa in opera delle apparecchiature necessarie (piastre assestometriche) e le misurazioni dei cedimenti sono eseguite a cura dell'Impresa, secondo le indicazioni della Direzione dei lavori.

La costruzione del rilevato deve essere **programmata in maniera tale che il cedimento residuo** ancora da scontare, al termine della sua costruzione, risulti **inferiore al 10% del cedimento totale stimato** e comunque minore di **5 cm**

(Capitolato CIRS) IL CEDIMENTO DEVE ESSERE SCONTATO DURANTE LE FASI DI COSTRUZIONE

A METTO 5 cm PERCHÉ SOPRA AL RILEVATO ANDRÀ A RETTORE LA PAVIMENTAZIONE

SE IL RILEVATO NON HA GIÀ SCONTATO IL CEDIMENTO E RETTORE LA PAVIMENTAZIONE, HO UN ABBASSAMENTO DI 10/15 cm CON IL CONSEGUENTE ABBASSAMENTO DELLE QUOTE DI PROGETTO.



## COSTRUZIONE DEL CORPO STRADALE

### TERRENI CEDEVOLI - **Precarico**

$S_c^*$  = cedimento da precarico

$\bar{t}_c$  = tempo di consolidazione

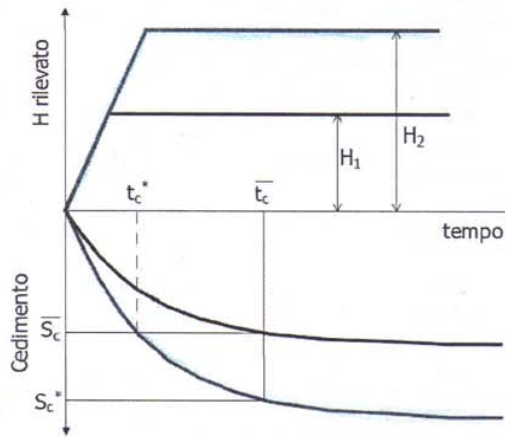
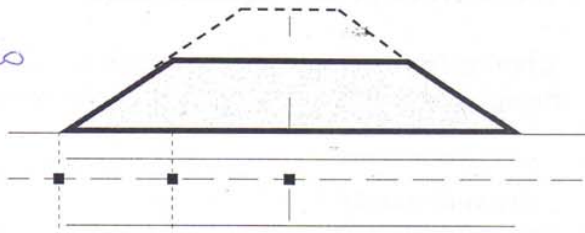
$$S_c^* > S_c$$

$$S_c(H_2) \rightarrow t_c^* < \bar{t}_c$$

APPLICHIAMO UN CARICO MAGGIORE DEL CARICO DI PROGETTO ED ACCELERO LA CONSOLIDAZIONE.

- A PARITÀ DI TEMPO, IL CEDIMENTO BLU È MAGGIORE
- A PARITÀ DI CONSOLIDAZIONE, IL CEDIMENTO NERO IMPIEGA PIÙ TEMPO.

PARTI DEL TERRENO MESSI ANDRÀ A COLTARE LA QUOTA DEL CEDIMENTO GIÀ SCOUTATA.



I DRENI SONO COLONNE CON ELEVATA PERMEABILITÀ CON FUNZIONE DI DRENARE L'ACQUA DENTRO IL TERRENO NATURALE, RIDUCENDO IL PERCORSO DI PENETRAGGIO

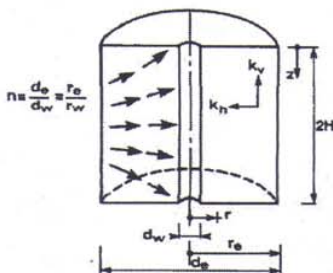
## COSTRUZIONE DEL CORPO STRADALE

### TERRENI CEDEVOLI - **Dreni verticali**, ACCELERANO LA CONSOLIDAZIONE

Molto spesso l'utilizzo dei dreni è abbinato alla tecnica del precarico

#### Funzione dei dreni

Modificare il percorso di drenaggio e ridurre il tempo di consolidazione

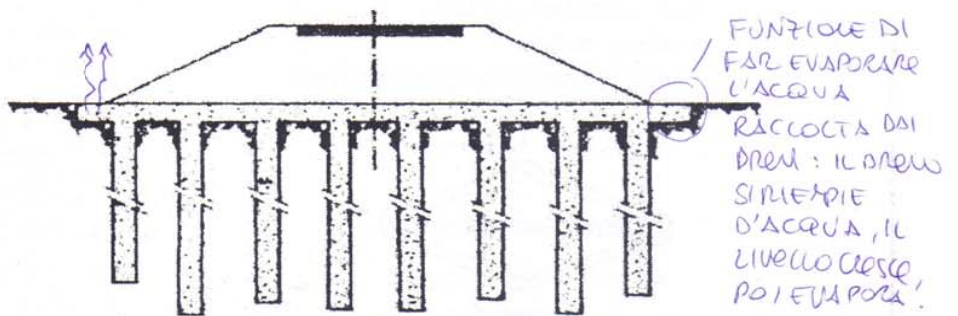


$$d_w = \phi \text{ DRENO}$$

$$d_e = \phi \text{ EFFICACE}$$

#### TIPOLOGIE

- Dreni in sabbia
- Dreni prefabbricati





## COSTRUZIONE DEL CORPO STRADALE

### TERRENI CEDEVOLI - *Trattamenti colonnari*

- JET-GROUTING
- VIBROSOSTITUZIONE
- VIBROCOMPATTAZIONE
- DEEP-MIXING
- COMPACTION GROUT

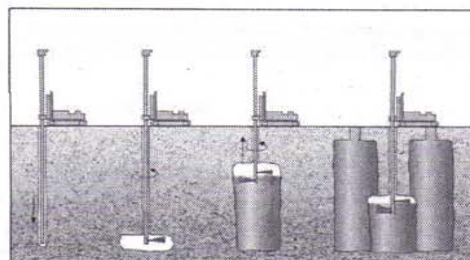
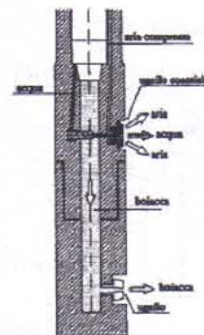
FACCIO UN GETTO DI FLUIDO DENTRO IL TERRENO IN CONDIZIONI DI PRESSIONE ELEVATA.  
 METTO UNA SOLIDA CAVA NEL TERRENO E DALLA TESTA (BASE DEL FORO) ESCE IL FLUIDO: LA SONDA SALE ED IL FLUIDO FORMA UNA COLONNA DI TERRENO CONSOLIDATA.  
 VARIANDO LA PRESSIONE VARIA IL DIAMETRO DELLA COLONNA.

## COSTRUZIONE DEL CORPO STRADALE

### TERRENI CEDEVOLI - *Trattamenti colonnari*

Sistema	Fluido	Pressione [MPa]	Velocità getto [m/s]	D [m]
Monofluido	Boiaccia di cemento	20 ÷ 40	100 ÷ 250	0.40 ÷ 0.60
Bifluido (Jumbo special pile)	Boiaccia di cemento Aria	25 ÷ 40 0.7 ÷ 1	100 ÷ 200 > 330	0.80 ÷ 1.60
Trifluido (Kaijima)	Boiaccia di cemento Aria Acqua	2 ÷ 6 0.7 ÷ 1.7 40 ÷ 60	50 ÷ 80 > 330 350 ÷ 500	0.80 ÷ 2.50

### JET-GROUTING



A prescindere dal tipo di terreno, il piano d'appoggio deve avere dei requisiti: valori minimi di  $M_d$  (misurato in prova di carico su piastra), non è un parametro fondamentale, serve solo per controllo.

## COSTRUZIONE DEL CORPO STRADALE

### PIANO D'APPOGGIO DEI RILEVATI - Requisiti di portanza

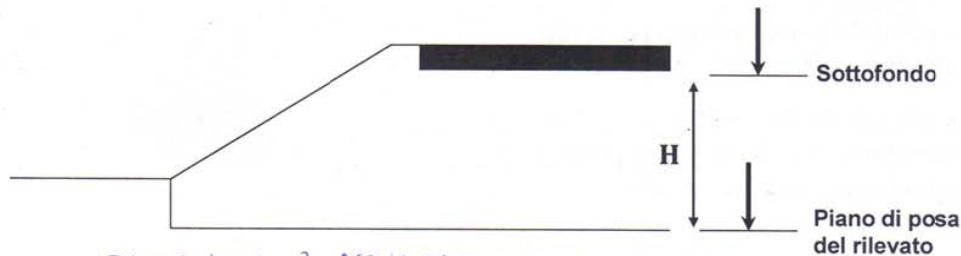
Modulo di deformazione (o di compressibilità)  $M_d$  al primo ciclo di carico nell'intervallo compreso tra  $0,05 \div 0,15 \text{ N/mm}^2$ :

- $15 \text{ N/mm}^2$ , per  $H > 2,00 \text{ m}$ ;
- $20 \text{ N/mm}^2$ , per  $1,00 < H < 2,00 \text{ m}$ ;
- $30 \text{ N/mm}^2$ , per  $0,50 < H < 1,00 \text{ m}$ .

(Capitolato CIRS)

I valori di  $M_d$  crescono al crescere della profondità: se ho uno spessore (H) limitato, ho un maggiore rischio che le azioni dei veicoli possano influenzare il piano di posa (bolzo delle pressioni)

SE  $H < 50$  CM SIAMO DENTRO AL SOTTOFONDO SINDACALE E DEVO RISPETTARE I REQUISITI DEL SOTTOFONDO.



CAPILLARITÀ - FAIDA ALTA - TERRENO FINE } ACQUA CHE INQUINA LA BASE DEL RILEVATO

IN ALCUNI CASI SI FA UNO STRATO PER INTERCETTARE L'ACQUA DI CAPILLARITÀ ED EVITARE LA RISALITA

TERRENI COESIVI E NON COESIVI SEPARATI DAL SETACCIO 0,075

## COSTRUZIONE DEL CORPO STRADALE

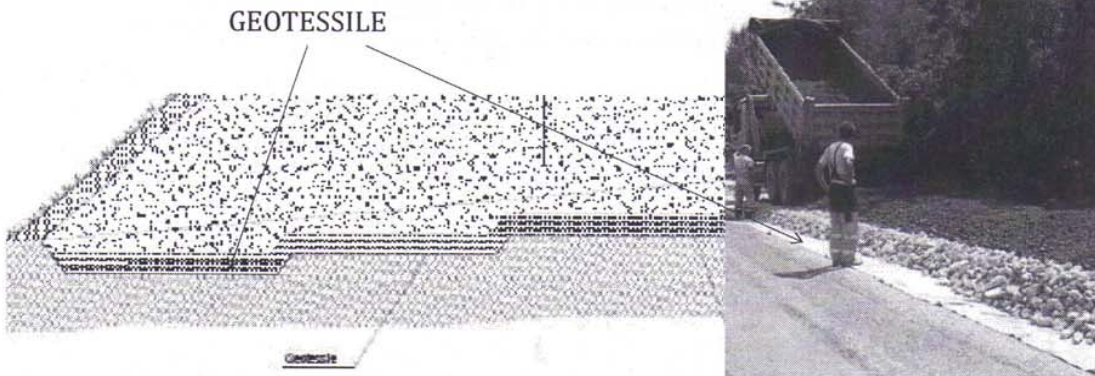
### PIANO D'APPOGGIO DEI RILEVATI - Strati anticapillari

Lo strato anticapillare in materiale naturale, dello spessore generalmente compreso tra 30 e 50 cm, deve essere costituito da terre granulari (ghiaia, ghiaietto ghiaino), con granulometria compresa tra 2 e 50 mm, con passante al setaccio da 2 mm non superiore al 15% in peso e, comunque, con un passante al setaccio 0,075 mm non superiore al 3%.

Il materiale deve risultare del tutto esente da componenti instabili (gelive, tenere, solubili, etc.) e da resti vegetali; è ammesso l'impiego di materiali frantumati ovvero riciclati.

GEOTESSILE

PRODOTTO SINTETICO A TAGLIA FINE CHE PERMETTE IL PASSAGGIO DELL'ACQUA MA NON DELTATERRE FINE, SI CREA LA GRANULOMETRIA /



PERMEABILITÀ DELLO STRATO È MIGLIORE, NON PERMETTE LA CAPILLARITÀ

lee



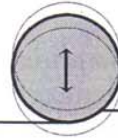
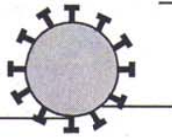
## COSTRUZIONE DEL CORPO STRADALE

### RULLI COMPATTATORI - *Tipologie*

OGNI RULLO È USATO SOLO PER UN CERTO TIPO DI TERRENO.



RULLI A PIEDI COSTIPANTI



RULLI VIBRANTI



RULLI GOMMATI



RULLI LISCI

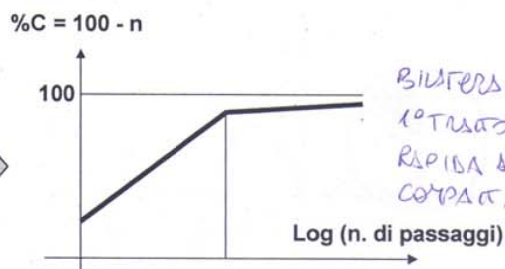
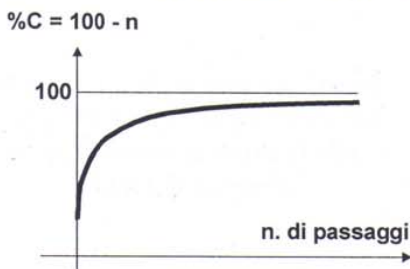
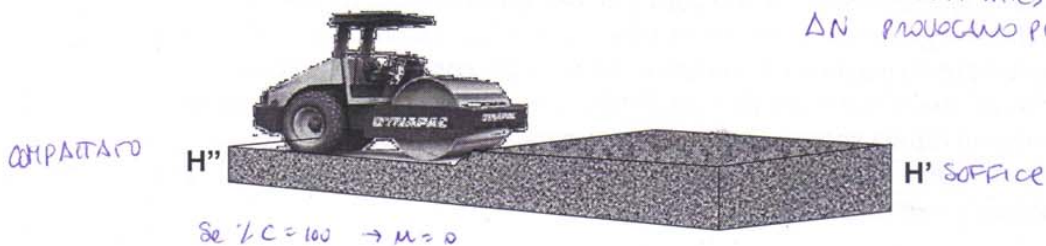
LA COMPATTAZIONE IN SITO È FATTA MEDIANTE RULLI CHE VIAGGIANO SULLA SUPERFICIE DA COMPATTARE E ADDENSANO IL TERRENO: AUMENTA LA SUA DENSITÀ.

NEL PASSAGGIO  $H'' \rightarrow H'$  HO UNA RIDUZIONE DI VOLUME, AUMENTA LA DENSITÀ.  
 $\%C$  = GRADO DI COMPATTAZIONE, FUNZIONE DI POROSITÀ E NUMERO DI CICLI.

## COSTRUZIONE DEL CORPO STRADALE

### PRINCIPI GENERALI DELLA COMPATTAZIONE IN SITU

LA  $\%C$  EVOLVE MOLTO NEI PRIMI PASSAGGI DEL RULLO E DOPO UN ALTO ISTANTE, LA CURVA TENDE AD APPIATTIRSI; I SUCCESSIVI  $\Delta n$  PRODUCONO PICCOLI  $\Delta \%C$ .



BILINTEA: 1° TRAZZO, EVOLUZIONE RAPIDA DELLA COMPATTAZIONE.



$R$  = DISTANZA BARICENTRO DELLA MASSA ECCENTRICA DAL CENTRO DI ROTAZIONE (PERNO)  
 L'OPERATORE REGOLA  $f$ : se  $f$  AUMENTA AUMENTA ANCHE  $F_c$

## COSTRUZIONE DEL CORPO STRADALE

### COMPATTAZIONE DINAMICA

$m_e$  = massa dell'eccentrico

$r$  = eccentricità dell'eccentrico

$f$  = frequenza di oscillazione (Hz)

$\omega$  = pulsazione (rad/s)  $\omega = 2\pi f$

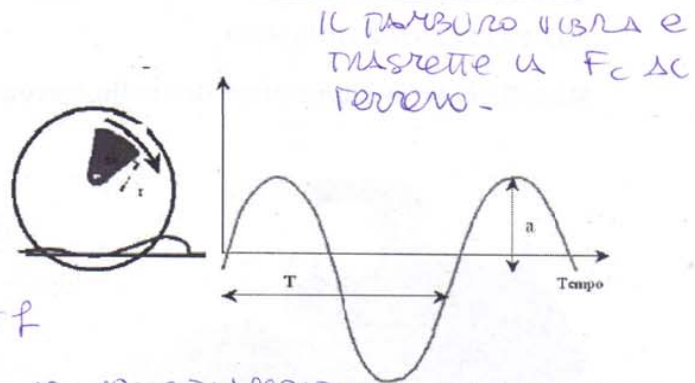
Si hanno:  $v = 2\pi \cdot f \cdot r = \omega \cdot r$

$$a_c = \frac{v^2}{r}$$

$$F_c = m_e \frac{v^2}{r} = M_e \cdot \omega^2$$

$M_e = m_e \cdot r$  (Momento d'eccentricità)

**Forza centrifuga  
trasmessa al tamburo**



$v$  = velocità periferica dell'eccentrico

$F_c = M_e a_c$  L'ECCENTRICITÀ, RUOTANDO, TRASMETTE UNA FORZA AL TAMBURO.

$F_c = m_T a_T = M_e \omega^2$  FORZA SUL TAMBURO, MASSA PER ACCELERAZIONE  
 VARIA DI DIREZIONE (funzione di  $\cos(\omega t)$ )  $[\omega t] = [\text{RAD}]$

## COSTRUZIONE DEL CORPO STRADALE

### COMPATTAZIONE DINAMICA

Si ricava:

$$a_T = \frac{M_e \cdot \omega^2}{m_T} \rightarrow \text{Accelerazione del tamburo}$$

$$a_{T,V} = \frac{M_e \cdot \omega^2}{m_T} \cos(\omega t) \rightarrow \text{Componente verticale dell'accelerazione}$$

Integrando due volte

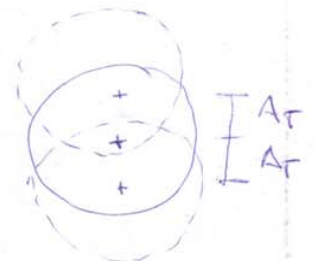
$$v_{T,V} = \int_0^t \frac{M_e \cdot \omega^2}{m_T} \cos(\omega t) dt = \frac{M_e}{m_T} \omega \cdot \sin(\omega t)$$

$$s_{T,V} = \int_0^t \frac{M_e \cdot \omega^2}{m_T} \sin(\omega t) dt = -\frac{M_e}{m_T} \cos(\omega t)$$



$$A_T = |\max s_{T,V}| = \frac{M_e}{m_T} = \frac{F_c}{m_T \cdot \omega^2}$$

**Massima ampiezza teorica di oscillazione del tamburo sospeso in aria**



NOTE ( $m_T, M_e, \omega$ ) POSSO DEFINIRE LA MASSIMA OSCILLAZIONE DEL TAMBURO IN ARIA.

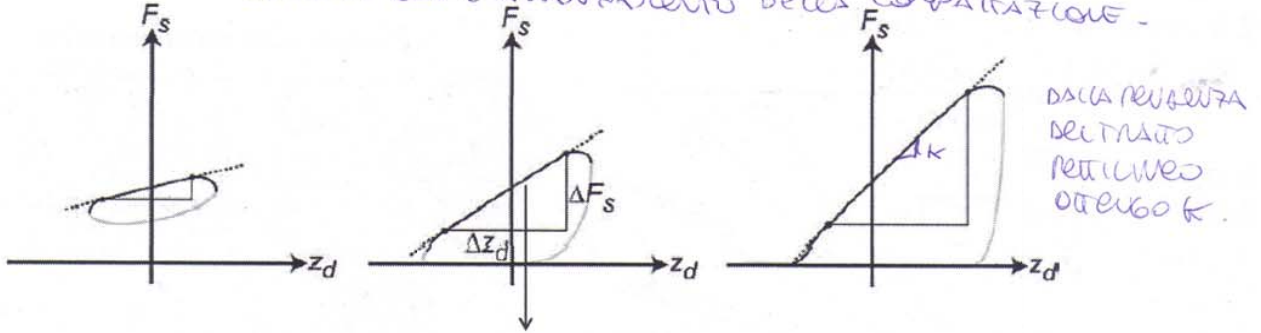
IN TERMO DI  $F_s$  E  $z_d$

ALL'AUMENTARE DEL CICLO, AUMENTA L'ENERGIA SPESA NEL PROCESSO!  
L'AREA DEL CICLO DI ISTERESI È PROPORZIONALE ALL'ENERGIA SPESA NEL PROCESSO.

## COSTRUZIONE DEL CORPO STRADALE

### COMPATTAZIONE DINAMICA

**Diagrammi indicatori** RELAZIONE IN RELAZIONE ( $F_s, z_d$ ), ANDAMENTO ISTERETICO LA FORZA DI ISTERESI È DOVUTA ALLA NATURA VISCOSA DEL TERRENO. DIAGRAMMI COSTRUITI CON L'AVANZAMENTO DELLA COMPATTAZIONE.



Si ricava la costante del terreno  $k$

→ ALL'AUMENTARE IL CICLO DI ISTERESI, AUMENTA ANCHE  $k$ .

PERCHÉ AUMENTA  $k$ ? UN TERRENO COMPATTATO AURA UNA MIGLIORE RESISTENZA.

VALUTO LA DEFORMABILITÀ PROPRIA DEL CILINDRO E LA SUA AREA DI CONTATTO (CILINDRO + TERRENO); IN TEORIA L'AREA DI CONTATTO DOVREBBE ESSERE UNA LINEA, MA NON È COSÌ PERCHÉ CILINDRO E TERRENO SI DEFORMANO.

## COSTRUZIONE DEL CORPO STRADALE

### COMPATTAZIONE DINAMICA

$z_d$  = ABBASSAMENTO SUBITO DAL TERRENO SOTTO EFFETTO DEL RUOTO.

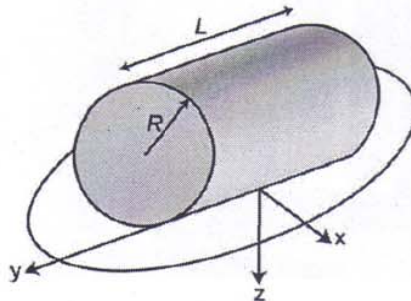
#### Modello di Lundberg

Corpo rigido su suolo elastico, omogeneo ed isotropo

$$z_d = \frac{2 \cdot (1 - \nu^2)}{\pi \cdot E} \cdot \frac{F_s}{L} \cdot \left( 1,8864 + \ln \frac{L}{b} \right)$$

$$b = \sqrt{\frac{16 \cdot R \cdot (1 - \nu^2)}{\pi \cdot E \cdot L} \cdot F_s}$$

Larghezza di contatto del tamburo (AREA DI CONTATTO)



Grandezza utilizzata per il controllo delle caratteristiche di compattazione

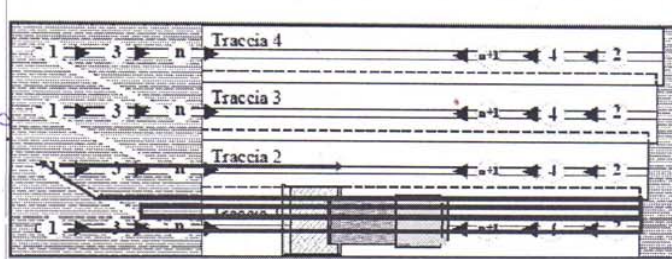


# COSTRUZIONE DEL CORPO STRADALE

## TECNICHE DI COMPATTAZIONE

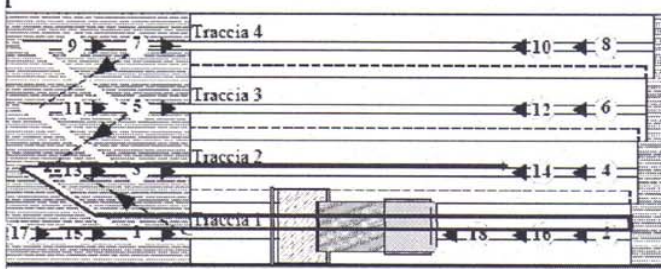
Operazione "STRISCIA per STRISCIA"

RUOLO AVANTI E INDIETRO PER IL NUMERO DI VOLTE RICHIESTO PER OGNI STRISCIA.

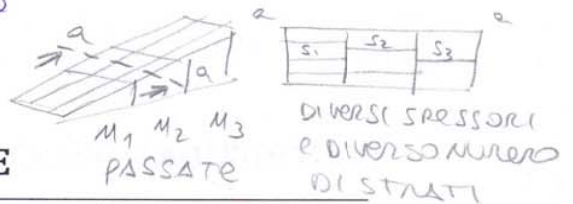


Operazione di "SCAMBIO SOVRAPPOSTO"

ESEGUIRE LO SCAMBIO FINCHÉ OGNI STRISCIA NON HA RAGGIUNTO IL NUMERO DI PASSAGGI PRESTABILITO.



CAMPO PROVA: SERVE PER CALIBRARE IL PROCESSO DI COMPATTAZIONE PER OGNI STRISCIA SI POSSONO SEGNARE DEI SETTORI CON UN DIVERSO NUMERO DI PASSAGGI (M<sub>i</sub>)



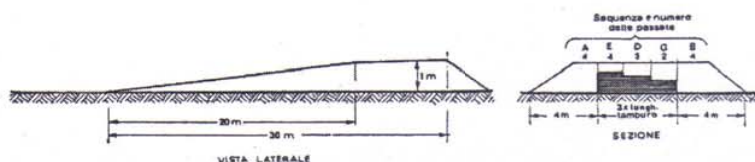
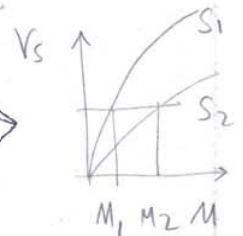
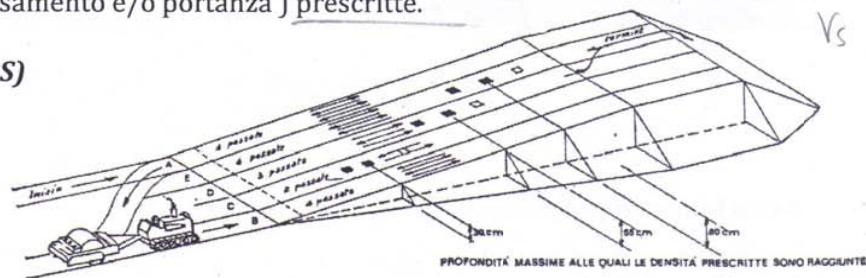
## COSTRUZIONE DEL CORPO STRADALE

### CAMPI PROVA

A FINE COMPATTAZIONE MISURO  $V_s$  IN SITO E PORTANZA  $M_{01}$  E DIAGRAMMO I RISULTATI PER OTTENERE LA COSTRUZIONE OTTIMALE CHE RISPETTI I LIMITI DI NORMATIVA.

Con la sola eccezione di lavori per i quali i volumi dei movimenti di materia siano del tutto trascurabili, l'Impresa è tenuta a realizzare una sperimentazione in vera grandezza (campo prova), allo scopo di definire, sulla scorta dei risultati delle prove preliminari di laboratorio e con l'impiego dei mezzi effettivamente disponibili, gli spessori di stesa ed il numero di passaggi dei compattatori che permettono di raggiungere le prestazioni (grado di addensamento e/o portanza) prescritte.

(Capitolato CIRS)



SE AUTENTICO SPESORE ALLO STRATO, SERVONO PIU'

PASSATE MA ANCHE IL NUMERO DEGLI STRATI: SULLA BASE DEI DATI DEL CAMPO PROVA OTTIMIZO LA COMPATTAZIONE.



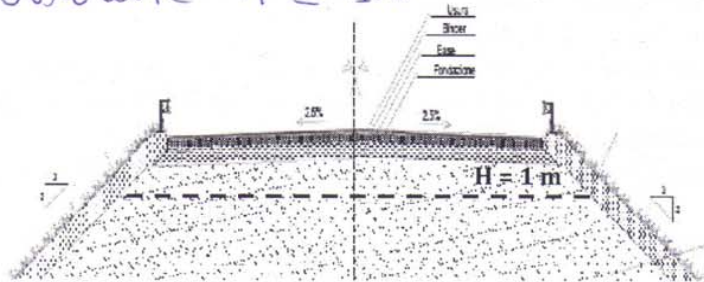
## COSTRUZIONE DEL CORPO STRADALE

### SOTTOFONDI

SUPERFICIE SOTTOFONDI DA RILIEVO REALIZZATA LA PAVIMENTAZIONE STRADALE.

Il sottofondo è il volume di terra nel quale risultano ancora sensibili le sollecitazioni indotte dal traffico stradale e trasmesse dalla pavimentazione; rappresenta la zona di transizione fra il terreno in sito (nelle sezioni in trincea o a raso campagna) ovvero tra il rilevato e la pavimentazione.

CONVENZIONALMENTE  $H \approx 1m$



IN TRINCEA H DIPENDE DA DIVERSI FACTORI ESPOSSE E' UNO STRATO DI BONIFICA DI PROGETTO.

PER STABILIZZAZIONE SI INTENDE UN QUALUNQUE PROGETTO LINEARIZZATO A MIGLIORARE LE CARATTERISTICHE MECCANICHE DEL TERRENO.

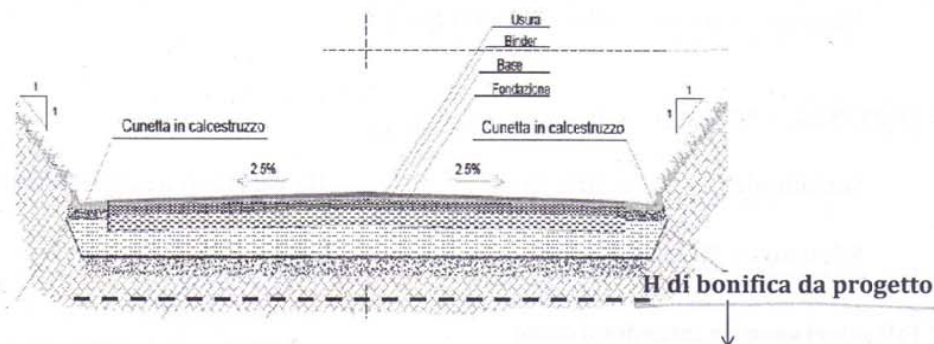
STABILIZZAZIONE < CHIMICA, AGGIUNGENDO CALCE / CERENTO  
FISICA, GRANULOMETRIA

IL SOTTOFONDO DEVE AVERE CARATTERISTICHE COSTANTI LUNGO TUTTO IL TRACCIATO.

## COSTRUZIONE DEL CORPO STRADALE

### SOTTOFONDI

Il sottofondo è il volume di terra nel quale risultano ancora sensibili le sollecitazioni indotte dal traffico stradale e trasmesse dalla pavimentazione; rappresenta la zona di transizione fra il terreno in sito (nelle sezioni in trincea o a raso campagna) ovvero tra il rilevato e la pavimentazione.



- Sostituzione del materiale in situ con altro di idonee caratteristiche
- Stabilizzazione del materiale in situ

USO IL MATERIALE PULSO ASCIUTTO.

LA FUNZIONE DEL RIVESTIMENTO E' QUELLA DI PROTEGGERE LE SCARPATE DALL'EROSIONE DELL'ACQUA, COME PER UNA FUNZIONE ESTRETTA.

## COSTRUZIONE DEL CORPO STRADALE

### RILEVATI E TRINCEE - Sistemazione delle scarpate *ULTIMA OPERAZIONE DA FARE*

Si deve garantire la sistematica e tempestiva protezione delle scarpate mediante la stesa di uno strato di terreno vegetale di circa 30 cm di spessore; questo andrà sistemato a strisce orizzontali, opportunamente assestato, seguendo progressivamente la costruzione del manufatto. Il terreno vegetale deve essere tale da assicurare il pronto attecchimento e sviluppo del manto erboso, seminato tempestivamente, con essenze (erbe ed arbusti del tipo previsto in progetto) scelte per ottenere i migliori risultati in relazione al periodo operativo ed alle condizioni locali.

La semina deve essere ripetuta fino ad ottenere un adeguato ed uniforme inerbimento.

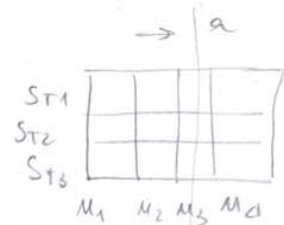


### TORNIAMO AL CAMPO PROVE (STESA IN PICCOLO)

IN BASE AI DATI A DISPOSIZIONE, DEVO DEFINIRE LO SPESORE DEGLI STRATI ED IL NUMERO DI PASSAGGI DEI RULLI.



OGNI STRISCIA E' LA TRACCE DI COMPATTAZIONE NEL SVOLGO RULLO.



DIVIDO OGNI STRISCIA IN SEZIONI TRASVERSALI E SI IPOTIZZA CHE SI COMPATTA CON UN NUMERO DI PASSAGGI PER OGNI STRISCIA.

OGNI STRISCIA LA POSSO SUDDIVIDERE IN UN NUMERO VARIABILE DI STRATI

IL SEZIONE GENERIC  $S_{ij} = S_{ij}(S_0, M_j)$

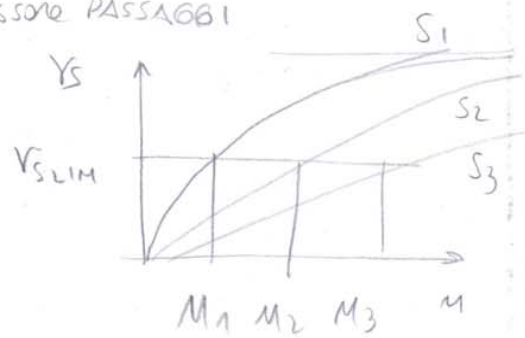
SPESORE PASSAGGI

PER OGNI  $S_{ij}$  ASSOCIO  $(Y_{s,ij}, M_{d,ij})$

OTTIENGO TANTE CURVE CORRISPONDENTI AI DIVERSI SPESORI

$Y_{s,lim} = 95\%$  ASSIETO MODIFICATA

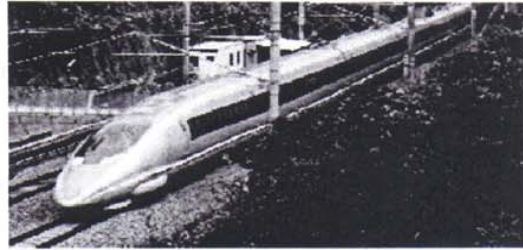
LA RICHO DIVERSI VALORI DI  $M$ .







**POLITECNICO DI TORINO**  
**Corso di Laurea Magistrale**  
**in Ingegneria Civile**  
a.a. 2013-14



**Costruzione di Strade, Ferrovie ed Aeroporti (03ALVMX)**



**CORPO STRADALE**

5 **Macchine movimento terra**

IL MOVIMENTO TERRE DEVE SVOLGERSI DENTRO AL CANTIERE TRAMITE MACCHINE.  
LA CANTIERIZZAZIONE DELL'OPERA È UN PROGETTO ED IL PROGRAMMA DEI LAVORI VA  
MESSO NEL PROGETTO ESECUTIVO, SERVE PER DETERMINARE COSTI E TEMPI.  
L'IMPRESA PUÒ MODIFICARE NEL TEMPO IL PIANO DI LAVORO MA I LAVORI VENGONO  
FATTI SECONDO UN PIANO DI LAVORI.

**MOVIMENTO TERRA**

**DEFINIZIONI**

L'attività di movimento terra (MT), di norma, si esplica attraverso l'impianto di aree di cantiere, finalizzate alla realizzazione di opere civili (dalla costruzione di edifici fino alle grandi infrastrutture)

Risulta, quindi, di fondamentale importanza, per la riuscita di un lavoro, predisporre ed attivare un CANTIERE MECCANIZZATO per la lavorazione delle terre che sia funzionalmente rispondente alle esigenze tecnico-economiche del lavoro da eseguire.

La CANTIERIZZAZIONE DELL'OPERA è un PROGETTO che ha come risultato:

- scelta dei singoli mezzi meccanici occorrenti per ogni lavorazione, determinandone le relative caratteristiche: tipo, potenza, quantità o numero; *LE LAVORAZIONI RICHIEDONO DEI REATTI SPECIFICI*
- determinazione del ciclo di lavoro delle singole macchine e del ciclo delle lavorazioni effettuate da più macchine fra loro interdipendenti; *OGNI LAVORAZIONE DEVE AVERE UN SUO TEMPO.*
- predisposizione di diagrammi di lavorazione da cui derivare lo schema dell'organizzazione generale del cantiere.

12



## MOVIMENTO TERRA

### LAVORAZIONI IN CANTIERE E MACCHINE OPERATRICI

Rottura del terreno	Scarificatori Aratri da scasso Erpici	Trainati o portati Ad uno o più vomeri A dischi o a punte
Costipamento	Rulli a punte Carrelli gommati Rulli a rete Rulli vibranti Piastre vibranti Piastre battenti Rulli lisci	Trainati o semoventi  Semoventi
Umidificazione	Cisterne Irroratori	Trainate o semoventi Condotte ad ala mobile
Miglioramenti e stabilizzazioni	Polverizzatori Miscelatori Dosatori Stabilizzatori	A lavorazioni separate A lavorazioni composte

VALUTARE IL VALORE IN MODO SBAGLIATO PUO' SPOSTARE TEMPI E COSTI  
↳ ERRORE RILEVANTE

### MOVIMENTO TERRA - CONCETTI VOLUMETRICI, FONDAMENTALI PER

Il volume delle terre da lavorare viene valutato generalmente, nei Capitolati d'Appalto, in uno dei seguenti modi:

CALCOLARE LA QUANTITA' DI TERRE IN LOCO DA LAVORARE

1) volume ( $m^3$ ) di materiale misurato nella sua posizione originale, cioè **in banco** o in situ ( $V_b$ );

VOLUME DI TERRA NEL SUO STATO ORIGINALE

2) volume ( $m^3$ ) di materiale dopo che ha subito un qualsiasi processo dalla sua posizione originale, cioè materiale **sciolto** ( $V_s$ );

TENERE RICORSO E MOVIMENTATO

NEL PASSAGGIO BANCO → SCIOLTO HO UN AUMENTO DI VOLUME

3) volume ( $m^3$ ) di materiale, misurato sul manufatto di terra dopo che sono ultimate le lavorazioni di costipamento, sino al raggiungimento della densità richiesta, cioè volume **costipato** ( $V_c$ ).

VALORE FINALE, DOPO LA COMPATTAZIONE

PER AVERE  $V_c$  SERVE MISURARE ( $V_b, V_s$ ).

In generale

il materiale da trasportare presenta un volume superiore a quello scavato

$$\boxed{V_s > V_b}$$

per effetto del costipamento meccanico i terreni raggiungono un peso di volume superiore a quello che avevano allo stato sciolto ma che può essere superiore o inferiore allo stato originale in banco

$$\boxed{V_s > V_b \geq / \leq V_c}$$

IN GENERALE NON POSSO SAPERE SE  $V_s \geq V_c$

## MOVIMENTO TERRA

### COEFFICIENTI DI TRASFORMAZIONE/2

Limestone - Broken	1540	2600	2610	4400	0.59
Crushed	1540	2600	-	-	-
Magnetite, iron ore	2790	4700	3260	5500	0.85
Pyrite, iron ore	2590	4350	3030	5100	0.85
Sand - Dry, loose	1420	2400	1600	2700	0.89
Damp	1690	2850	1900	3200	0.89
Wet	1840	3100	2080	3500	0.89
Sand & clay - Loose	1600	2700	2020	2400	0.79
Compacted	2400	4050	-	-	-
Sand & gravel - Dry	1720	2900	1930	3250	0.89
Wet	2020	3400	2230	3750	0.91
Sandstone	1510	2550	2520	4250	0.60
Shale	1250	2100	1660	2900	0.75
Slag - Broken	1750	2950	2940	4950	0.60
Snow - Dry	130	220	-	-	-
Wet	520	960	-	-	-
Stone - Crushed	1600	2700	2670	4500	0.60
Taconite	1630-1900	3600-4200	2360-2700	5200-6100	0.58
Top Soil	960	1600	1370	2300	0.70
Taprock - Broken	1750	2950	2610	4400	0.67
Wood Chips**	-	-	-	-	-

## MOVIMENTO TERRA

### COEFFICIENTI DI TRASFORMAZIONE/3

SWELL - VOIDS - LOAD FACTORS		
SWELL (%)	VOIDS (%)	LOAD FACTOR
5	4.8	0.952
10	9.1	0.909
15	13.0	0.870
20	16.7	0.833
25	20.0	0.800
30	23.1	0.769
35	25.9	0.741
40	28.6	0.714
45	31.0	0.690
50	33.3	0.667
55	35.5	0.646
60	37.5	0.625
65	39.4	0.606
70	41.2	0.588
75	42.9	0.571
80	44.4	0.556
85	45.9	0.541
90	47.4	0.526
95	48.7	0.513
100	50.0	0.500

$$V_s = V_b / f_c$$

$$V_b = V_s / (1 + f_r/100)$$

$\eta_h =$

60'

$\eta_h = 100$  se non si perde MAI di lavorare

MA L'OPERATORE PRODUCE PERDITE DI TEMPO

## MOVIMENTO TERRA

### RENDIMENTO DI UNA MACCHINA

#### Rendimento orario $\eta_h$

E' il rapporto tra il tempo (espresso in minuti primi) in cui una macchina effettivamente produce e l'ora stessa, cioè 60'.

Il tempo effettivo in cui la macchina produce è in ogni caso  $< 60'$  perché vi sono sempre delle perdite di tempo dovute a messe a punto, regolazioni dei diversi meccanismi della macchina, sostituzioni di breve durata di parti di ricambio, necessità del manovratore etc.

ASSUNTO

In generale si assume il valore  $\eta_h = 50/60 = 0.83$ , considerando una perdita di tempo oraria fissa di 10'.

N.B.: Quando si considera un complesso di macchine lavoranti in dipendenza l'una dall'altra  $\eta_h$  va applicato a tutto il complesso.

## MOVIMENTO TERRA

### RENDIMENTO DI UNA MACCHINA DIPENDE DALLE CONDIZIONI CLIMATICHE

#### Rendimento climatico $\eta_{cl}$

Indica l'incidenza delle condizioni locali (posizione geografica ed altimetrica), delle condizioni temporali (stagione, ora) e della non perfetta idoneità di una macchina per un determinato lavoro in un cantiere in cui un più idoneo mezzo non sia disponibile, sulla produzione della macchina stessa.

Sono riportati i valori orientativi per il rendimento climatico.

pessimo	cattivo	mediocre	buono	ottimo
$< 0.75$	0.75	0.85	0.95	1

LA SCELTA DI  $\eta_{cl}$  DIPENDE DAL PROGETTISTA, DIPENDE DALLE CARATTERISTICHE SPECIFICHE DI CANTIERE (0.85 per essere sicuri).



## MACCHINE MOVIMENTO TERRA (MMT)

Le **MMT** possono essere impiegate per diversi tipi di lavorazione e possono essere distinte in base al tipo di operazione:

### LAVORAZIONE

1. Preparazione del terreno (Rimozione ostacoli, asportazione strato sup.)
2. Scavi (Zone di trincea, cunette, fossi di guardia)
3. Formazione (Riparti di strati) *DI UN PIANO*
4. Regolazione sottofondi e scarpate, *LIVELLATURA SUPERFICIE*
5. Rimozione detriti
6. Trasporto

### OPERAZIONE

- a) macchine per lo scavo (sbancamento) e spostamento
- b) macchine per lo scavo e carico
- c) macchine per la rottura *TERRENO IN BANCO*
- d) macchine per il trasporto
- e) macchine per il costipamento

#### N.B.

Una determinata lavorazione può richiedere l'impiego di più macchine, così come una determinata macchina può essere impiegata per diversi tipi di lavorazione

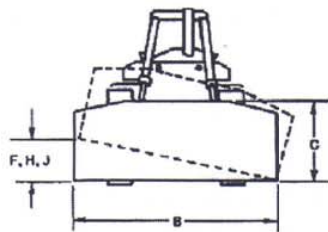
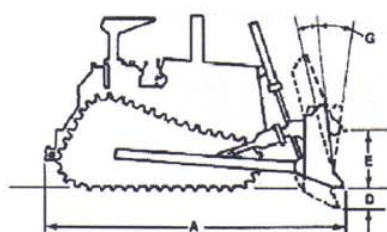
*PER OGNI MACCHINA CALCOLO LA P.O.*

*DOZER : SMACCHIAMENTO, SCOTTICO, TRINCEE, RIPARTI, CUNETTE*

*IL DOZER SCAVA E TRASPORTA.*

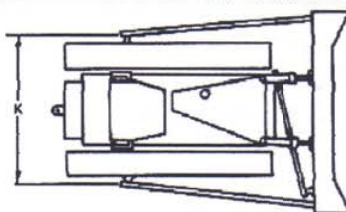
## MACCHINE MOVIMENTO TERRA

### DOZER (APRIPISTA) - Lavorazione/operazione: 1,2,3/a



#### KEY

- A Length (Blade Straight)
- Blade:
- B Width (including standard end bits)
- C Height
- D Maximum Digging Depth
- E Ground Clearance @ Full Lift
- F Maximum Tilt (Manual)
- G Maximum Pitch Adjustment
- H Maximum Hydraulic Tilt
- J Hydraulic Tilt (manual brace centered)
- K Push Arm Trunnion Width (to Ball Centers)



L'apripista non è altro che un trattore cingolato o gommato dotato di una lama anteriore (*blade*) fissata ad un telaio ad U mediante uno speciale attacco al centro ed mediante bracci telescopici ai lati

SCAVO



IL DOZER, QUANDO LA LAMA RAGGIUNGE LA CAPACITA' MASSIMA DI SCAVO DELLA LAMA, INIZIA LA FASE DI TRASPORTO, LA LAMA SI SOLLEVA ED IL MATERIALE TRASPORTATO VA' IN DEPOSITO.

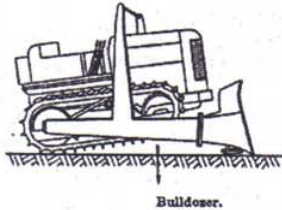
## MACCHINE MOVIMENTO TERRA

### DOZER (APRIPISTA)

La classificazione che di norma si adotta per questo tipo di macchine dipende dalla inclinazione che può assumere la lama.

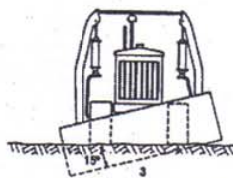
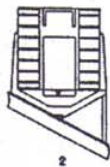
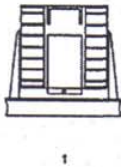
Si distinguono tre tipi principali:

- a) apripista a lama diritta (**bulldozer**) - max distanza lavoro 150 m *SPINGE SOTTO IL TERRENO*
- b) apripista a lama orientabile (**angledozer**) - max 25°-30° asse verticale
- c) apripista a lama inclinabile (**tiltadozer**) - max 15° asse longitudinale



SCAVA IN VERTICALE E SI INCLINA, UTILE PER I LAVORI IN PIEDI.

LA LAMA RUOTA INTORNO L'ASSE VERTICALE, SPUSTA LATERALMENTE IL TERRENO

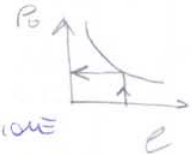


- ESISTONO 3 METODI PER CALCOLARE LA PRODUZIONE ORARIA P<sub>0</sub>:
- 1) GUARDO VISUALE DEL RETTO, POCO USATO
  - 2) ANALITICO, E' DIFFICILE MA EFFICACE
  - 3) OSSERVAZIONE SPERIMENTALE

1° METODO - HAND BOOK - SI BASA SUI MONOGRAMMI

$L m^3/h$  PRODUZIONE ORARIA, DOVE L = SCIOLTO

DIVERSE CURVE PER OGNI MODELLO DI MACCHINA: STABILITA' A DISTANZA MEDIA DI LAVORO (L, COMPRESO SCAVO E TRASPORTO), RICHIEDE LA PRODUZIONE ORARIA (P<sub>0</sub>)



## MACCHINE MOVIMENTO TERRA

P<sub>0</sub> [m<sup>3</sup>/h] DI MATERIALE SCIOLTO VALUTATO IN CONDIZIONI STANDARD

### DOZER (APRIPISTA)

#### Produzione oraria - curve di produzione

Curve di Produzione

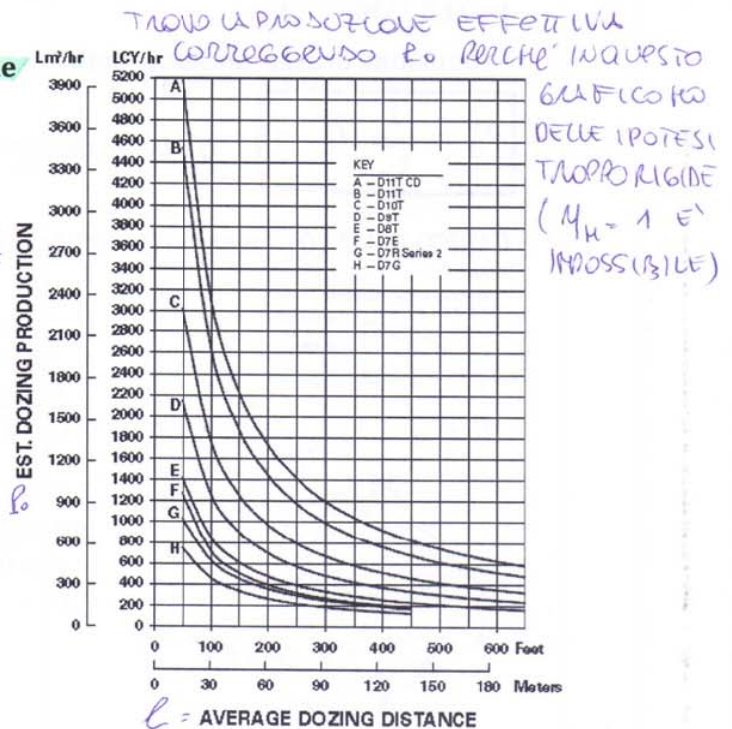
(da HandBook - esempio CATERPILLAR)

$$P_{eff} = \text{MASSIMA PRODUZIONE} \times \text{FATTORI DI CORREZIONE}$$

$$\text{Production (Lm}^3/\text{hr)} = \text{Maximum production} \times \text{Correction factors}$$

The bulldozer production curves give maximum uncorrected production for universal, semi-universal, and straight blades and are based on the following conditions:

1. 100% efficiency (60 minute hour — level cycle).
2. Power shift machines with 0.05 min. fixed times.
3. Machine cuts for 15 m (50 feet), then drifts blade load to dump over a high wall. (Dump time — 0 sec.)
4. Soil density of 1370 kg/Lm<sup>3</sup> (2300 lb/LCY).
5. Coefficient of traction:
  - a. Track machines — 0.5 or better
  - b. Wheel machines — 0.4 or better
6. Hydraulic controlled blades used.
7. Dig 1F\*\*  
Carry 2F\*\*  
Return 2R\*\*





## MACCHINE MOVIMENTO TERRA

### DOZER (APRIPISTA)

#### Produzione oraria - metodo analitico

CARICO LAMA effettivo ( $Q_e$ )

$$Q_e = Q_{SSE} \cdot \text{FAITORE DI RIEMPIMENTO (FUNZIONE NATURA DEL TERRENO)}$$

$$Q_e = Q \times \text{fill factor (m}^3\text{)}$$

GRANULARE OMOGENEO ASCIUTTO	0.8 ÷ 0.9
TERRE - CIOTTOLI - HUMUS VEGETALE	0.9 ÷ 1
GRANULARE MISTO BAGNATO	1.0 ÷ 1.1
ARGILLA SATURA COMPATTA	1.1 ÷ 1.2

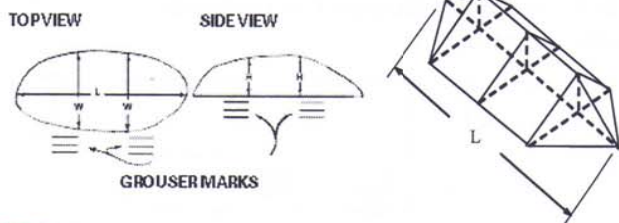
3° METODO - OSSERVAZIONE SPERIMENTALE, ACCUSATO  
 FACCIO SCAVARE AL DOZER E VALUTAZIONE GEOMETRICA DEL FRONTE

## MACCHINE MOVIMENTO TERRA

### DOZER (APRIPISTA)

#### Produzione oraria - metodo analitico

CARICO LAMA ( $Q$ ) - metodo da campo (misure dirette)



$$Q = 0.0138 \times (HWL)$$

ove H,W,L espressi in piedi



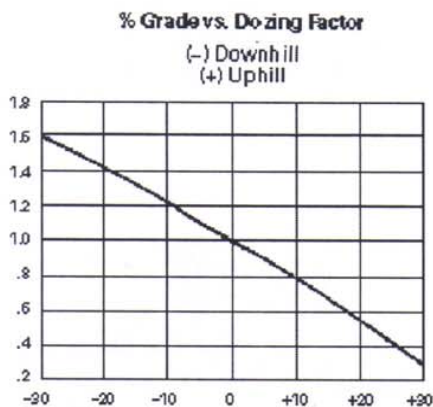
## MACCHINE MOVIMENTO TERRA

**DOZER (APRIPISTA)**

Produzione oraria - metodo analitico

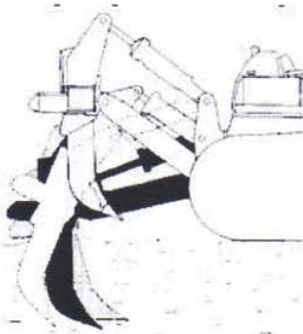
BISOGNA SEMPRE CORREGGERE IN FUNZIONE DELLA PENDENZA DEL TRATTO.

FATTORE DI CORREZIONE - PENDENZA DEL TRATTO



## MACCHINE MOVIMENTO TERRA

**SCARIFICATORE o RIPPER**

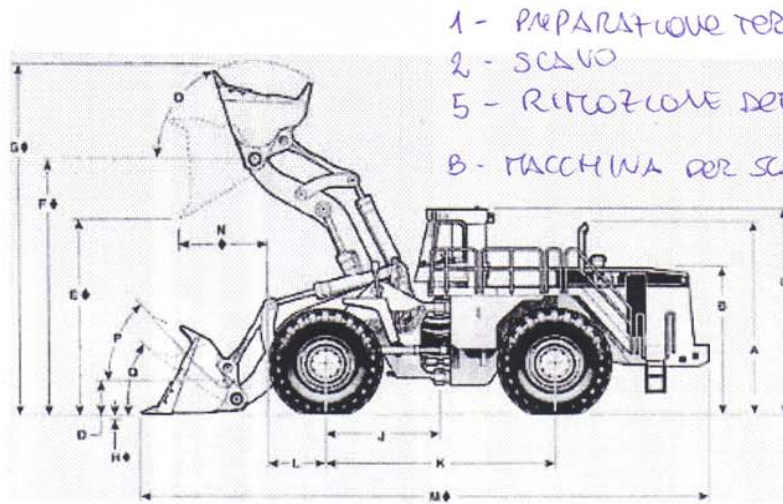


Dispositivo con cui può essere equipaggiato il Dozer, avente la funzione di scarificare il terreno per agevolare le successive operazioni di sbancamento

RIPPER: ATTREZZO AGGIUNTO AL DOZER, DOVE SI HANNO PIU' DENTI CHE STRUONO IL TERRENO PER AGEVOLARE LE OPERAZIONI DEL DOZER SERVE NEI TERRENI MOLTO TENACI.

## MACCHINE MOVIMENTO TERRA

### PALA CARICATRICE - Lavorazione/operazione: 1,2,5/b



1 - PREPARAZIONE TERRENO

2 - SCAVO

5 - RIMOZIONE DETRITI

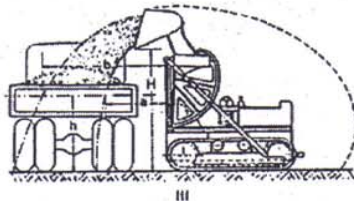
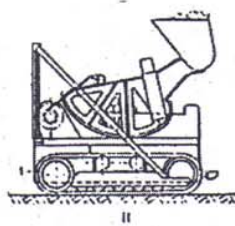
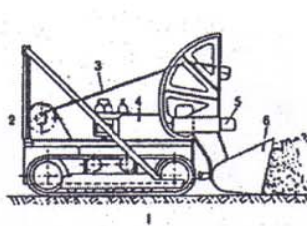
B - MACCHINA PER SCAVO E CARICO

TETTO SMOVENTE A  
TELAIO ELEVATORE,  
DOVE E' INCERNIERATA  
UNA BENNA.

Le pale cariatrici sono particolari tipi di trattori montati su cingoli o su pneumatici. Hanno anteriormente un telaio elevatore al quale è incernierata una benna con lama tagliente, che per mezzo di bielle, può essere sollevata ed abbassata, effettuando così il carico e lo scarico del materiale e spesso anche lo scavo del terreno da asportate e trasportare altrove

## MACCHINE MOVIMENTO TERRA

### PALA CARICATRICE



Distinguiamo in:

- **Pale a carico e scarico frontale**, il cui telaio che regge la pala può compiere rotazioni fino a 90°
- **Pale a carico anteriore e scarico posteriore**, dotate di telaio in grado di ruotare a 180° indicate per operare in spazi ristretti, per esempio in galleria.
- **Pale a scarico laterale**, dotate di un meccanismo che permette di rovesciare lateralmente la pala per scaricare il materiale

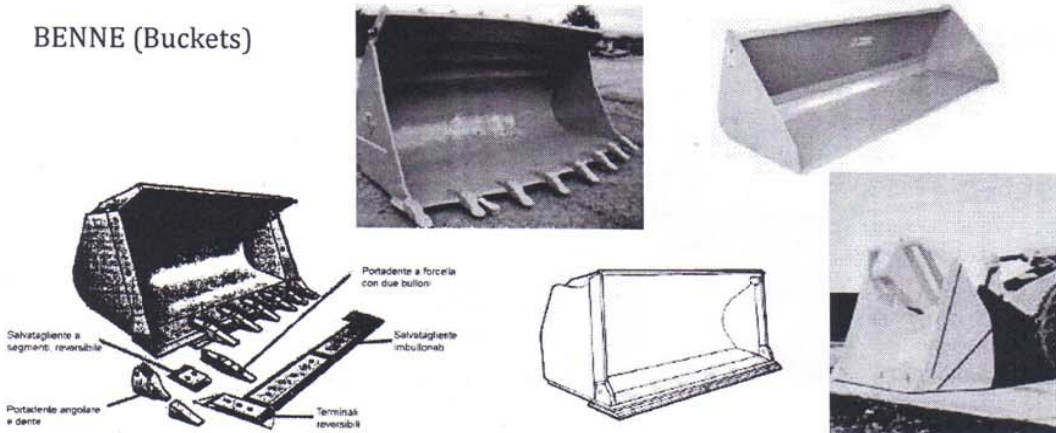


CONTENITORE SOLICILINDRICO INCRONIERATO AL PIANO EQUATORE, SERVE PER LE OPERAZIONI DI CARICO/SCARICO DEL TERRENO (ALCUNE VOLTE ANCHE PER LO SCAVO)

## MACCHINE MOVIMENTO TERRA

### PALA CARICATRICE

BENNE (Buckets)



Essendo le pale cariatrici adatte a diversi impieghi, esistono numerosi tipi di benna

- benna per impieghi generali
- benna per materiali sciolti
- benna per lo scavo in banco
- benna da roccia
- benna a scarico laterale, particolarmente indicata per caricare in spazi ristretti
- benna per movimentazione rifiuti

ASPETTO IMPORTANTE PER DEFINIRE LA CAPACITA' Q.

NEL DIMENSIONAMENTO DEL PARCO MACCHINE DEVO DEFINIRE LA CAPACITA' DI CARICO DI OGNI MACCHINA.

LA Q DIPENDE DALLE DIMENSIONI DELLA BENNA E DAL CARATTERE STATICO (LA BENNA DEVE FARE LE OPERAZIONI IN SICUREZZA)

## MACCHINE MOVIMENTO TERRA

### PALA CARICATRICE

#### CARICO STATICO DI RIBALTAMENTO (TIPPING LOAD)

Viene determinato:

- su superficie dura
- in piano
- benna nella massima estensione
- carico massimo
- sia con il telaio dritto sia nella massima rotazione del telaio

RUOTO LA BENNA NEL P.O.

Il T.L. può essere incrementato con un contrappeso, cabina, scarificatori, ecc..

Il T.L. viene dichiarato dal costruttore

IL MASSIMO CARICO A RIBALTAMENTO E' STABILITO DAL COSTRUTTORE: ELEMENTO IMPORTANTE CHE DISTINGUE IL TERZO

IL PERICOLO E' AL RIBALTAMENTO.

$Q$  = MASSA DI TERRA TRASPORTATA  
 $W$  = PESO

SE IL RIBALTAMENTO NON E' EFFICACE, HO UNA ROTAZIONE INTORNO AD O



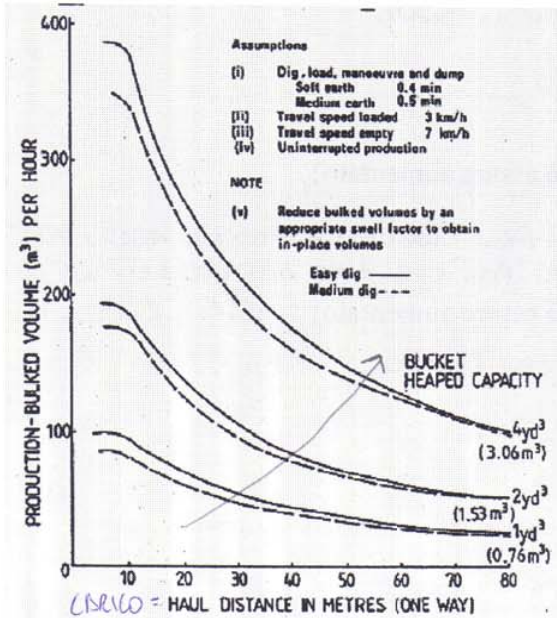
O (punto di rotazione)



## MACCHINE MOVIMENTO TERRA

### PALA CARICATRICE

#### Produzione oraria - Nomogrammi/Curve di produzione - DENTRO AL MANUALE MACCHINA

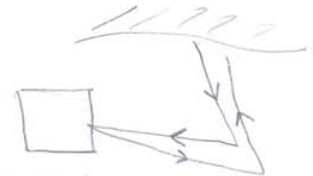


I valori di produzione vanno opportunamente corretti in relazione alle reali condizioni di lavoro (se diversi da quelli riportati nel grafico):

- Efficienza
- Rigonfiamento
- Tempi di carico, scarico, manovra e trasporto

OGNI CURVA È PER UNA DIVERSA BENNA.

PRODUZIONE ORARIA IN CONDIZIONI STANDARD.



$t_{cb}$  - tempo per compiere le operazioni base:

- CARICATA PER LAE DALL CORICCO/FRONTI
- MANOVRA DI RETROMARCA E AVVICINAMENTO AL CARICCO
- RIBALTARE IL TERRENO NEL CASSONE
- TORNERE INDIETRO ANZIANDO SUL FRONTE SCAVO

## MACCHINE MOVIMENTO TERRA

### PALA CARICATRICE

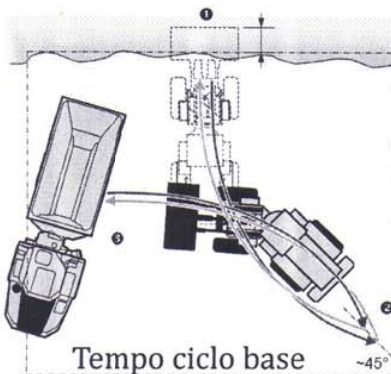
#### Produzione oraria - Metodo analitico

$$P_0 = \frac{1}{t_c} \cdot \bar{Q} \cdot \eta$$

$\eta$  = velo prima

$\bar{Q}$  è la capacità effettiva della benna  
(previa verifica carico ribaltamento T.L.)

TEMPO CICLO (a "V")



$$t_c = t_{cb} + t_f + t_t$$

$t_{cb}$  = tempo ciclo base (tempo di carico, tempo di scarico e tempo per 4 spostamenti nello spazio minimo)

$t_f$  = fattori di correzione del tempo ciclo base

$t_t$  = tempo aggiuntivo per spostamenti di carico e scarico al di fuori dello spazio minimo

IPOTESI: AUTOCARICO VICINO AL FRONTE

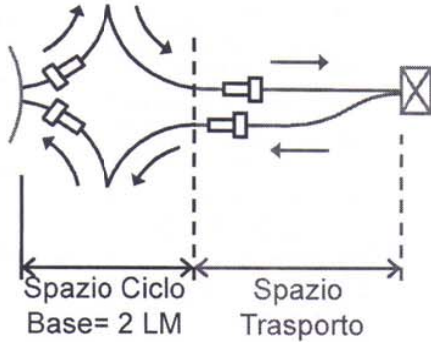
SE LA ZONA DI CARICO E' DISTANTE DA QUELLA DI SCARICO DEVO AGGIUNGERE IL TEMPO DI TRASPORTO (SIA ANDATA CHE RITORNO)

## MACCHINE MOVIMENTO TERRA

### PALA CARICATRICE

#### Produzione oraria - Metodo analitico

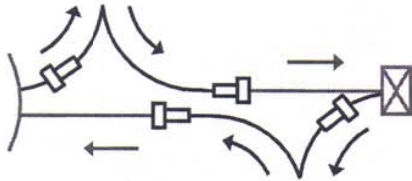
#### TEMPO AGGIUNTIVO AL CICLO BASE



$$t_t = t_{\text{MANOVRA}} + t_{\text{TRASPORTO PURO}}$$

$$t_{\text{manovra}} = 0.10 \text{ min}$$

$$t_{\text{TRASPORTO PURO}} = \frac{\text{DISTANZA}}{\text{VELOCITA'}} \text{ (in alternativa ABACHI)}$$



$$t = \frac{\text{SPAZIO}}{\text{VELOCITA'}} \text{ se per nota}$$

## MACCHINE MOVIMENTO TERRA

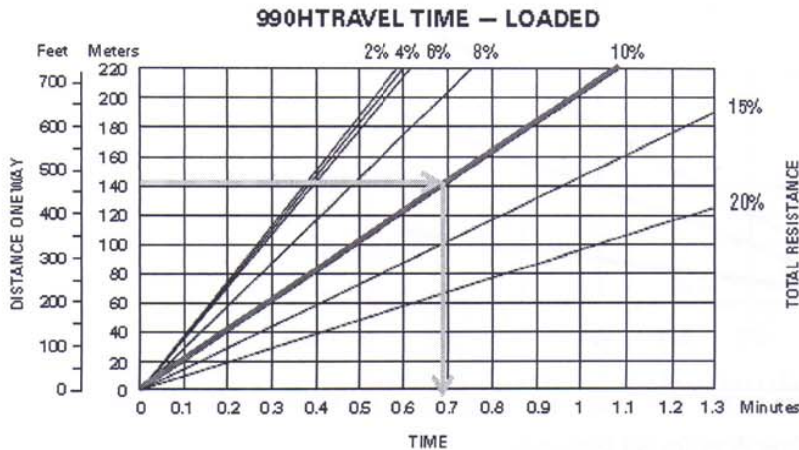
### PALA CARICATRICE

#### Produzione oraria - Metodo analitico

#### TEMPO AGGIUNTIVO AL CICLO BASE (PALA GOMMATA)

- TOTAL RESISTENCE: RESISTENZA DEL TERZO
- DISTANCE = SOLO ANDATA
- TIME = TEMPO ANDATA E RITORNO

ESEMPIO TR = 10%  
DISTANZA = 140 m





MACCHINA PER SCAVO E CARICO: HA UNA PARTE RUOTANTE COLLEGATA AD UN SISTEMA DI BRACCI ( $\geq 2$ )

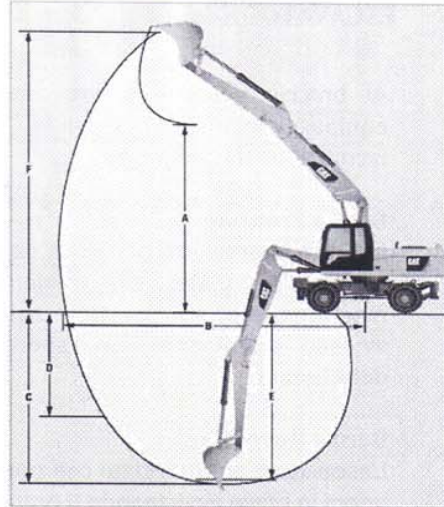
## MACCHINE MOVIMENTO TERRA

### ESCAVATORE - Lavorazione/operazione: 2/b

Sono costituiti da una macchina base sulla quale possono essere montati differenti equipaggiamenti a seconda del lavoro che si deve svolgere.

La macchina base è costituita da un carro e da una sovrastruttura rotante attorno ad un asse verticale. Il carro ospita i dispositivi che consentono il movimento della macchina e può essere montato su cingoli o su ruote gommate.

I **cingoli** consentono al mezzo di muoversi su terreni accidentati e, dal momento che trasmettono al terreno pressioni inferiori rispetto alle ruote gommate, permettono di utilizzare il mezzo anche su terreni caratterizzati da scarsa capacità portante. Per queste ragioni gli escavatori più potenti e pesanti sono dotati di cingoli. Gli escavatori cingolati, rispetto a quelli gommati, presentano un baricentro più basso che aumenta la stabilità del mezzo sia in fase di scavo che in movimento. I cingoli sono dimensionati affinché la pressione esercitata sul terreno sia dell'ordine di 0,7 - 0,9 kg/cm<sup>2</sup> quando la macchina è sotto sforzo.



PER CINGOLATE → SOSTA, MA PIÙ LENTO  
PER GOMMATE → NON SOSTA.

## MACCHINE MOVIMENTO TERRA

### ESCAVATORE - Lavorazione/operazione: 2/b

Gli escavatori **gommati** sono da preferirsi quando al mezzo è richiesta un'elevata mobilità e quando esiste il rischio che i cingoli possano danneggiare le superfici sulle quali il mezzo deve muoversi.

L'**attrezzatura di scavo** è costituita da un primo braccio detto braccio base, incernierato sulla torretta, da un secondo braccio, detto braccio di scavo avambraccio o stick, incernierato al primo ed un attrezzo finale (benna rovescia, frontale, mordente, martello demolitore, ecc.) incernierato al braccio di scavo.

Qualsiasi macchina, anche se dotata di un solo braccio base, offre sempre la scelta fra due o più bracci di scavo, per meglio adattarsi alle varie esigenze di lavoro.

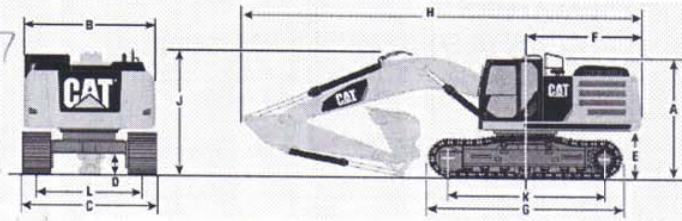
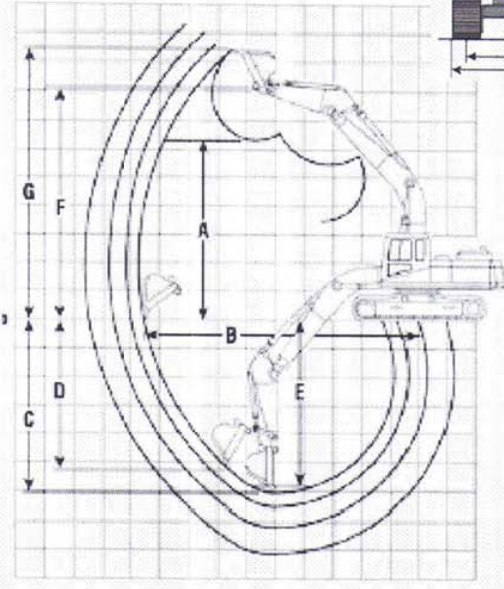




## MACCHINE MOVIMENTO TERRA

### ESCAVATORE

#### GRANDEZZE CARATTERISTICHE



#### One-Piece Boom Digging Envelope

- ◆ Standard shoes and undercarriage

#### KEY:

- A Maximum loading height of bucket with teeth.
- B Maximum reach at ground level
- C Maximum digging depth
- D Maximum vertical wall
- E Maximum depth of cut for 2.44m (8'0") level bottom (straight clean up)
- F Maximum bucket hinge pin height
- G Maximum height to bucket teeth at highest arc

GRANDEZZE PER OGNI  
MACCHINA:  
MAX H, MAX L,  
MAX DISTANZA RAGGIUN-  
GIBILE ...

## MACCHINE MOVIMENTO TERRA

### ESCAVATORE

#### CAPACITA' DI SOLLEVAMENTO

IL VALORE DI TERRA DA MOVIMENTARE DIPENDE  
DALLA BENNA CHE SI USA:

In alcune particolari situazioni la capacità di sollevamento diventa determinante per la scelta dell'escavatore.

La capacità di sollevamento di un escavatore dipende dal suo peso, centro di gravità, la posizione del punto sollevamento e dalla sua capacità idraulica.

#### Specifiche SAE:

CF } VALUTO IL MINIMO  
TL }

PARAMETRI FORNITI  
DAL COSTRUTTORE.

**CARICO STATICO DI RIBALTAMENTO (T.L.):** corrisponde al massimo carico (kg), (dipendente dalla posizione del punto di sollevamento), il cui momento bilancia esattamente il momento stabilizzante generato dal peso della macchina.

→ CARICO OPERATIVO LIMITE = 75% T.L.

**CAPACITA' IDRAULICA DI SOLLEVAMENTO (C.I.):** il massimo carico che può essere sollevato senza superare la normale pressione di esercizio.

→ CAPACITA' IDRAULICA LIMITE = 87% C.I.

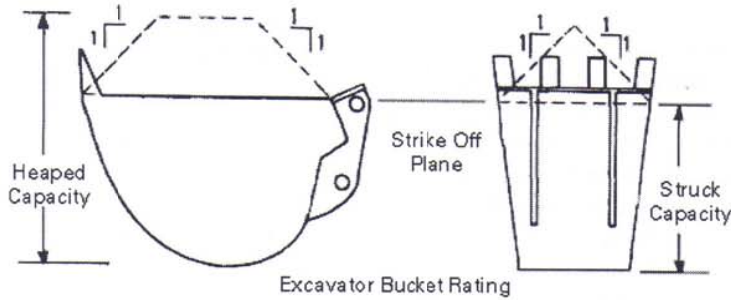
**CAPACITA' NOMINALE DI SOLLEVAMENTO:** è uguale al minimo dei due valori precedenti, valutata per ogni specifica posizione.

C.I. MASSIMO CARICO, NOVE' PER RAGIONI DI EQUILIBRIO STATICO MA E' FUNZIONE DELLA PRESSIONE IDRAULICA DEI PISTONI.

## MACCHINE MOVIMENTO TERRA

### ESCAVATORE

#### CAPACITA' DELLA BENNA



#### Specifiche SAE (standard J-296):

**CAPACITA' LIVELLATA (Struck capacity):** il volume effettivamente racchiuso all'interno della benna (escluso il materiale trasportato dai suoi denti) al di sotto del piano di taglio (Strike off Plane) *RASSO, VALORE NOMINALE*

**CAPACITA' AL COLMO (Heaped Bucket Capacity):** è il volume precedente più il volume presente al di sopra del piano di taglio, valutato come rappresentato in figura.

La Committee on European Construction Equipment (CECE) definisce tale capacità al colmo con un angolo a riposo del materiale al di sopra della linea di taglio pari a 2:1.

*(CAMBIANO LE CARATTERISTICHE GEOMETRICHE)*

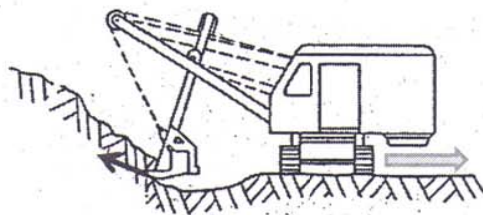
→ DEVO VERIFICARE QUESTI 2 VALORI CON LA CAPACITA' NOMINALE DI SOLLEVAMENTO (VEDI PRIMA)

## MACCHINE MOVIMENTO TERRA

### ESCAVATORE

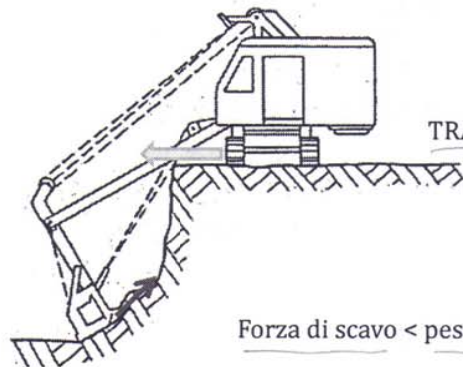
#### STABILITA' DI SCAVO

*VERIFICHE IN FASE DI SCAVO*



*L'EFFETTO DELLE AZIONI E' LO SPOSTAMENTO DEL CENTRO (FUNZIONE DEL COEFFICIENTE D'ATTRITO CINGOLI SULLA SUPERFICIE D'APPOGGIO).*

**SLITTAMENTO**



**TRASCINAMENTO**

Forza di scavo < peso operativo x coeff. di attrito



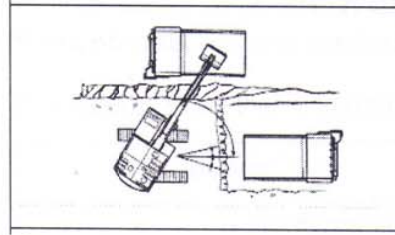
## MACCHINE MOVIMENTO TERRA

### ESCAVATORE

Produzione oraria - Metodo analitico

TEMPO CICLO

$$t_c = t_{cb} + t_f$$



$t_{cb}$  = tempo ciclo base (tempo di carico, tempo di scarico e tempo le rotazioni a benna carica e scarica) dipendono dalla dimensione della macchina.

$t_f$  = fattori di correzione del tempo ciclo base

I valori di  $t_{cb}$  sono definiti in condizioni standard:

- Terreno comune
- Nessun ostacolo
- Condizioni medie di lavoro
- Operatore di capacità media
- Angolo di rotazione tra i 60-90°

*t<sub>cb</sub> VALORE STANDARD RICEVUTO DAL MANUALE D'USO.*

*ROTAZIONE TORRELLA*

## MACCHINE MOVIMENTO TERRA

### ESCAVATORE

Produzione oraria - Metodo analitico

TEMPO CICLO BASE

CYCLE TIME ESTIMATING CHART														
CYCLETIME	MACHINE SIZE CLASS												CYCLETIME	
	307C 308D CR 308D CR SB	311D	M310D 312D	M315D M315D L	M319D M319D L	M322D 320D 320D RR 321D CR 323D	324D	328D LCR	329D	336D	345D	345C L		345C
10 SEC.								N/A						0.17 min.
15								N/A						0.25 min.
20 SEC.								N/A						0.33 min.
25														0.42 min.
30 SEC.														0.50 min.
35														0.56 min.
40 SEC.														0.67 min.
45														0.75 min.
50 SEC.														0.83 min.
55														0.92 min.
60 SEC.														1.0 min.

N/A = Not Applicable

Fastest Possible

Fastest Practical

Typical Range

Slow



*RANGE DI APPLICAZIONE*

#### KEY

- A - Excellent
- B - Above Average
- C - Average
- D - Below Average
- E - Severe



## MACCHINE MOVIMENTO TERRA

### ESCAVATORE

#### Produzione oraria - Metodo analitico

CORREZIONE AL TEMPO BASE ( $t_f$ )/3

PROFONDITÀ RISPETTO AL PIANO D'APPROCCIO

PROFONDITÀ DI SCAVO (%)	VARIAZIONI CICLO BASE (secondi)
25	-1
50	0
75	+1
100	+2

**GRADER**: NATA PER RISOLVERE I PROBLEMI DI STABILITÀ DEI PENDII CON IL COPERTO DI MODELLARE - LIVELLARE - ESPANDERE I MATERIALI GRANULARI TERROSI.

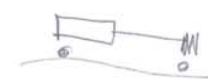
COS'È IL GRADER? ANTERIORMENTE È SU 2 RUOTE, POSTERIORMENTE È UN PIANO ALLUNGATO COLLEGATO AL CARRO CON MOTORE E CABINA.

- LA LAMA PERMETTE DI FARE TUTTE LE OPERAZIONI (PENETRA 15÷30 CM NEL TERRENO)
- LUNGHEZZA DI PRODUZIONE MOLTO GRANDE, POSSO STENDERE IL TERRENO PER DIVERSI KM ED AVERE VELOCITÀ SOSTENUTE (25÷30 KM/H)

• **VANTAGGI** 1) MACCHINA ESTREMA MENTE PRECISA, LA PENDENZA TRASVERSALE 2,5% È GIÀ FATTA SUL RILIEVATO

2) MACCHINA IRREGOLATA: LA LAMA SI MUOVE IN UNA POSIZIONE FISSA ANCHE NELLE CONDIZIONI DI LAVORO PIÙ DIFFICILI (IRREGOLARITÀ SUPERFICIALE) NON HA VIBRAZIONI.

3) MACCHINA ALLUNGATA I PUNTI DI CONTATTO RUOTA-TERRENO (ANTERIORE E POSTERIORE) SONO MOLTO DISTANTI; C'È POCHE INFLUENZA SUL MOVIMENTO DEL PIANO DOVUTO



## MACCHINE MOVIMENTO TERRA

### MOTOLIVELLATRICE - Lavorazione/operazione: 3,4/a

ALLE IRREGOLARITÀ SUPERFICIALI → RISERVE POCO DELLE IRREGOLARITÀ DEL TERRENO

La livellatrice è una macchina che può essere impiegata in una vastissima gamma di applicazioni:

- finitura scarpate; con PENDENTE FISSE (3/2)
- livellazione superfici; RILIEVATO FATTO PER STRATI SUCCESSIVI
- preparazione siti di cantiere;
- spandimento materie sciolte;
- prescarificazione (pre-ripping);
- rimozione manto nevoso. (ANADA, SCANDI, USA)

QUANDO REALIZZI L'OPERA DEVI CREARE UNO SPAZIO PER FAR PASSARE MACCHINE E OPERAI (ALLOGGI, MISURE SITUAZIONE...)



Sono costituite da un telaio a ponte che poggia anteriormente su una coppia di ruote e posteriormente su un carro, su due o quattro ruote, che ospita il motore e la cabina di manovra. Il livellamento del terreno avviene tramite una lama collegata al telaio a ponte attraverso una ralla che le consente di assumere diverse posizioni rispetto alla macchina.

Vengono di norma impiegate lungo percorsi entro i 600 m (tagli pesanti) oppure anche per alcuni km (livellamenti a media-bassa intensità); la penetrazione dello scarificatore si svolge entro 12÷25 cm con velocità comprese entro 4÷24 km/h.

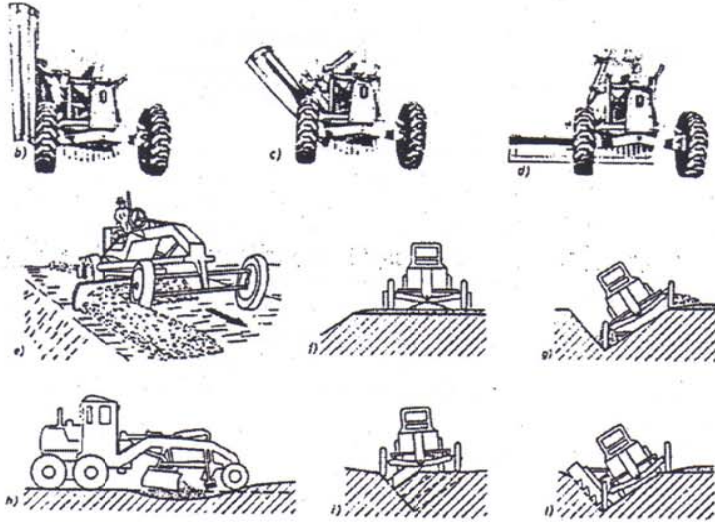
• **NEGATIVO** PER EFFETTO DELL'ALLUNGAMENTO HORAGGI DI CURVATURE ALTI, NON POSSO MOVEMENTI IN SPAZI RISTRETTI.



## MACCHINE MOVIMENTO TERRA

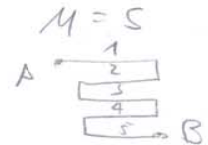
### MOTOLIVELLATRICE (Esempi di utilizzo)

LA LAMA SI ADESSA PER OGNI  
OPERAZIONE: MOVIMENTO  
PRECISIONE.



- b) autolivellatore con dispositivo per la ripresa del materiale e la formazione di mucchi laterali o carico dei veicoli con nastro trasportatore;
- c), d) varie posizioni della lama (vomere) ugualmente possibili sia a destra che a sinistra;
- e), f) livellamento;
- g), h), i), l) scavo di fossi, sistemazione di scarpate e operazioni varie

$M =$  FUNZIONE SEZIONE TRASVERSALE. SE  $M$  E' DISPARI:  
ALLA FINE DELLA LIVELLAZIONE IL RETTO E' DISTANTE DAL  
PUNTO DI INIZIO  $\rightarrow$  DEVO COMPUTARE IL TEMPO DI SPOSTAMENTO  $t_{AS}$ .



## MACCHINE MOVIMENTO TERRA DEVE' SEMPLICE CALCOLO LA PRODUTTIVITA'

### MOTOLIVELLATRICE

#### Produzione oraria

LA PRODUTTIVITA' E' IN FUNZIONE  
DEL TIPO DI LAVORAZIONE.

La produzione oraria, a seconda del tipo di lavoro, viene espressa in termini di:

- volume di terreno tagliato e posizionato nell'unità di tempo [ $m^3/h$ ];
- chilometri di pista profilata nella unità di tempo [ $km/h$ ];
- metri quadrati di superficie livellata nell'unità di tempo [ $m^2/h$ ].

INFISSURE (LARA NEL TERRENO E SCARRE)  
LIVELLARE ESPANDERE } CAMBIANO LE UNITA' DI MISURA

Un metodo per valutare il tempo richiesto per l'esecuzione di un certo lavoro è il seguente:

$$t = \frac{D}{V \cdot \eta} \cdot n$$

- D = distanza in km
- V = velocità (Operating Speed) in km/h
- n = numero di passate per eseguire la lavorazione
- $\eta$  = efficienza

Operating Speeds:  
Typical operating speeds by application

Finish Grading:	0-4 km/h	(0-2.5 mph)
Heavy Blading:	0-9 km/h	(0-6 mph)
Ditch Repair:	0-5 km/h	(0-3 mph)
Ripping:	0-5 km/h	(0-3 mph)
Road Maintenance:	5-16 km/h	(3-9.5 mph)
Haul Road Maintenance:	5-16 km/h	(3-9.5 mph)
Snow Plowing:	7-21 km/h	(4-13 mph)
Snow Winging:	15-28 km/h	(9-17 mph)

IL CALCOLO DEL TEMPO E' FISSO PER OGNI LAVORAZIONE.

FACCO RIFERIRE - NRO A VALORI TABOLATI

La produzione oraria in [ $m^3/h$ ] di volume tagliato e posizionato può calcolarsi mediante la seguente formula:

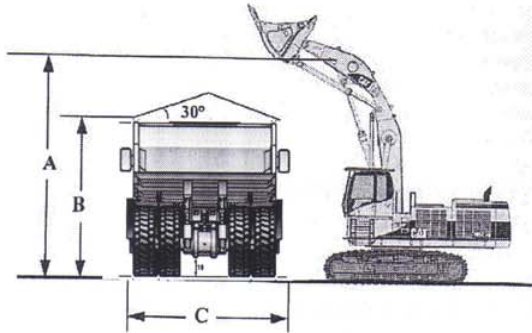
$$P = \frac{A \cdot V}{n} \cdot \eta$$

A = area della sezione trasversale di lavoro (lunghezza efficace della lama x profondità di lavoro)

## MACCHINE MOVIMENTO TERRA

### AUTOCARRI - DUMPERS

**Criteri di scelta** ACCOPPIAMENTO  
CARICO + TRASPORTO



Altezza ottimale di caricamento:

$$A > B + \frac{C \cdot \tan(30^\circ)}{2} \quad A > B + 0,3 C$$

A = MASSIMA ALTEZZA DI SCARICO DEL  
RETTO CARICATORE

Caratteristiche tecniche - Esempio

B = ALTEZZA DEL VERBO SUPERIORE DEL TRASPORTATORE (CASSONE)  
C = LARGHEZZA TRASPORTATORE

MODEL		772	
Body Type	Medium Impact Steel Flat Floor		
Gross Machine Weight	82.100 kg	181.000 lb	
Chassis Weight*	25.425 kg	56.063 lb	
Body Weight	10.499 kg	23.018 lb	
Payload Without Liner	46.286 kg	101.934 lb	
Standard Liner Weight	-		
Target Payload*	46.286 kg	101.934 lb	
Capacity:			
Struck (SAE)	23.3 m³	30.5 yd³	
Heaped (2:1) (SAE)	31.3 m³	41.0 yd³	
Distribution Empty:			
Front	48%		
Rear	52%		
Distribution Loaded:			
Front	33%		
Rear	67%		
Engine Model	C16 ACERT		
Number of Cylinders	6		
Bore	145 mm	5.7"	
Stroke	188 mm	7.2"	
Displacement	18 L	1105 in³	
Net Power	309 kW	535 hp	
Gross Power	446 kW	596 hp	
Standard Tires	21.00R33 (E4)		
Machine Clearance/Turning Circle	21.6 m	70'10"	
Fuel Tank Refill Capacity	529 L	140 U.S. gal	
Top Speed (Loaded)	79.7 km/h	49.5 mph	
GENERAL DIMENSIONS (Empty):			
Height to Canopy Rock Guard Rail	4.22 m	13'10"	
Wheelbase	3.95 m	13'0"	
Overall Length (Operating)	9.74 m	32'0"	
Overall Length (Shipping)	8.74 m	28'8"	
Loading Height (Empty)	3.80 m	12'6"	
Height at Full Dump	8.36 m	27'5"	
Body Length (Target Length)	5.55 m	18'3"	
Width (Operating)	4.75 m	15'6"	
Width (Shipping)***	3.95 m	13'0"	
Front Tire Tread	3.17 m	10'5"	

## MACCHINE MOVIMENTO TERRA

### AUTOCARRI - DUMPERS

**Produzione oraria**

$$P_0 = \frac{1}{t_c} \cdot \bar{Q} \cdot \eta$$

CAPACITA' EFFETTIVA DEL CASSONE

Q = Capacità teorica x fattore di riempimento

(difficile da valutare, in genere ci si riferisce al valore dichiarato dalla casa - Target Payload)

FARE RIFERIMENTO

TEMPO CICLO

$$t_c = t_{\text{fisso}} + t_{\text{variabile}}$$

$t_{\text{fisso}}$  → tempo di manovra nella zona di carico = 0.1-0.4 min  
tempo di scarico e relativa manovra = 1.0-1.2 min

(RETROCARICA) + TEMPO DI CARICO  
(CASSONE RIBACCIABILE)

$t_{\text{variabile}}$  → tempo che occorre al dumper per spostarsi dalla zona di carico alla zona di scarico e viceversa

ATTENZIONE

x = TEMPO PER RIBACCIARE IL CASSONE  
y = TEMPO DI SCARICO

$$y > x$$



## MACCHINE MOVIMENTO TERRA

### AUTOCARRI - DUMPERS

#### Produzione oraria

#### CALCOLO NUMERO DI DUMPERS PER CARICATORE

$$N_{\text{DUMPERS}} = \frac{P_{\text{caricatore}}}{P_{\text{dumper}}}$$


NUMERO DI CARICATORI PER OGNI TRASPORTAZIONE  
(AVERE 10 PER NON AVERE TEMPI MOLTI)

Il valore ottenuto dovrà essere approssimato all'intero superiore per garantire una produzione richiesta

COSTIPAMENTO: RIDUCE IL VOLUME PER EFFETTO DI STUONI ESTERNE

RULLI: USANO UN AZIONE DI TAGLIO ( $\tau$ ) CHE PERMETTE DI  
AVVICINARE I GRANI E FORTARE STRUTTURE PIU' COMPATTE / CHIUSE.

 10 → 5 AVVICINO SOLO I GRANI

 40 → 5 AVVICINO I GRANI, I PUNTI DI CONTATTO SOLO PIU' SOLIDI,  
PERCHE' HO UNA RIORGANIZZAZIONE DEL MATERIALE  
→ AUMENTANO LE PROPRIETA' MECCANICHE ED HO UNO SCHECCO  
SOLIDO PIU' FORTE.

## MACCHINE MOVIMENTO TERRA

### RULLI (COMPACTORS) - Lavorazione/operazione: 3, 4 / e

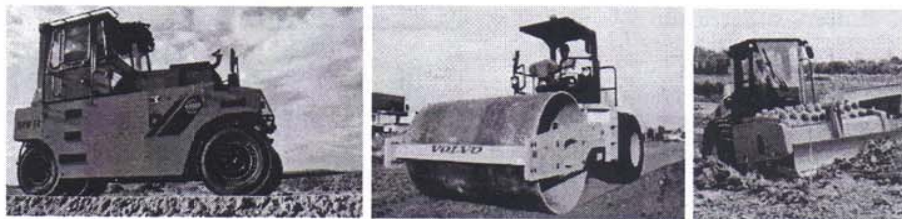
Il costipamento è l'azione che porta ad aumentare la densità del terreno, comprimendo ed avvicinando tra loro le particelle dei materiali con espulsione di una parte dell'acqua e del gas che riempiono i vuoti.

L'energia spesa per questo processo varia secondo il tipo di materiale, la tecnica usata, lo spessore sottoposto a costipamento, il contenuto di acqua.

Lo scopo del costipamento è l'aumento della resistenza meccanica del materiale addensato.

In cantiere il costipamento viene effettuato a mezzo di macchine semoventi o trainate che, in funzione delle loro caratteristiche, sottopongono il materiale da compattare a quattro diverse azioni:

- pressione
- urto
- vibrazione
- manipolazione



I mezzi di costipamento compiono il proprio lavoro esplicando un'azione statica (dovuta essenzialmente al peso proprio della macchina) ed una azione dinamica (di urto o vibrazione).

Secondo se prevale l'una o l'altra di queste due azioni essi si dividono in due grandi classi: **mezzi statici** e **mezzi dinamici**.

VANNO BENE SU TUTTI (TERRENI), REGGIO SU GHIAIA E SABBIA E VANNO BENE PER GLI STRATI SPessi (MAGGIORE PROFONDITA' DI COSTIPAMENTO)

## MACCHINE MOVIMENTO TERRA

### RULLI

PROFONDITA' OTTURALE DI COMPATTAZIONE:

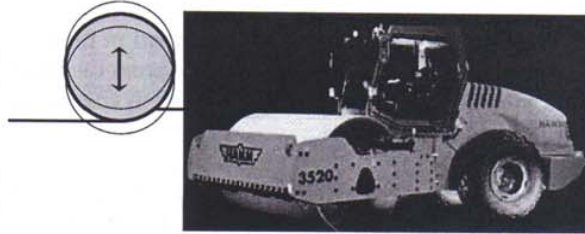
30-90 CM

### RULLI A CILINDRI LISCI VIBRANTI

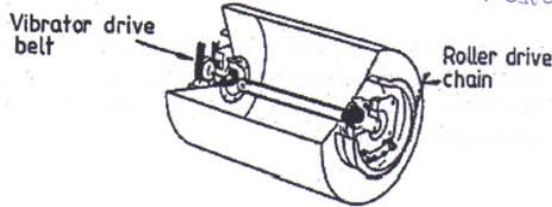
Sono composti da un telaio isolato dal tamburo metallico vibrante (o dai tamburi) mediante tamponi in gomma.

Le vibrazioni sono generate dalla rotazione di una massa eccentrica posta all'interno del tamburo. La velocità di rotazione di questa massa determina la frequenza; il peso e la forma della massa, oltre al peso del tamburo, determinano la ampiezza di vibrazione.

Garantiscono i migliori risultati in presenza di terreni incoerenti costituiti da sabbie, ghiaia, misti alluvionali.



SUPERFICIALE → PROFONDA  
 S → P  
 COSTA SUPERFICIALE DIVENTA LA FORMA PROFONDA NELLO STRATO SUCCESSIVO



USATO NEI MATERIALI MOLTO PLASTICI O PER IL MATERIALE E' MISCIATO IN MODO CONTINUO ED OMOGENIZZATO.

→ PROFONDITA' RIDOTTA

→ UTILI NEI MATERIALI PLASTICI CON MOLTA ACQUA PERCHÉ FASCIARE L'ACQUA IN SUPERFICIE E EVAPORARE

## MACCHINE MOVIMENTO TERRA

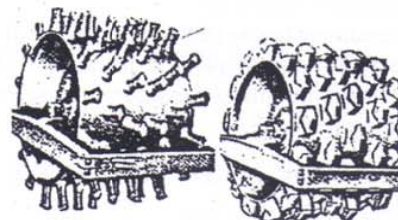
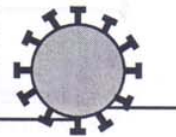
### RULLI

### RULLI CON TAMBURI A PIEDI DI MONTONE

Sono macchine di tipo statico ideali per l'addensamento dei materiali ad elevata coesione (argilla e limi argillosi), grazie alle azioni di impatto e mescolamento.

Gli zoccoli sulle generatrici del tamburo a file sfalsate hanno forme diverse e lunghezza variabile da 15 a 25 cm; il tamburo può essere zavorrato per aumentarne il peso.

Il peso della macchina viene trasmesso al terreno dagli zoccoli che, avendo superfici ridotte, esplicano pressioni unitarie molto elevate. Lo svantaggio di questo tipo di tamburi è la ridotta profondità di addensamento limitata alla lunghezza degli zoccoli e la mancanza di effetto addensante sui materiali granulari.

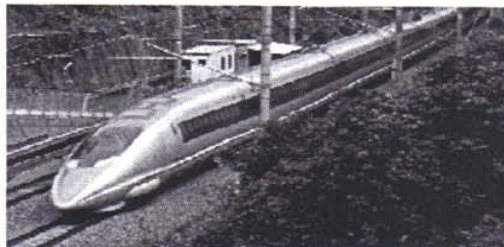
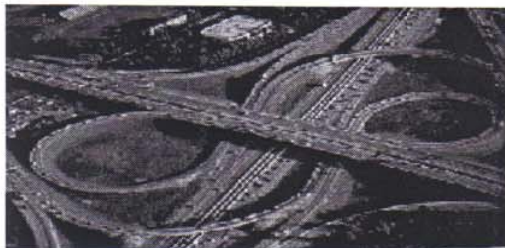


182

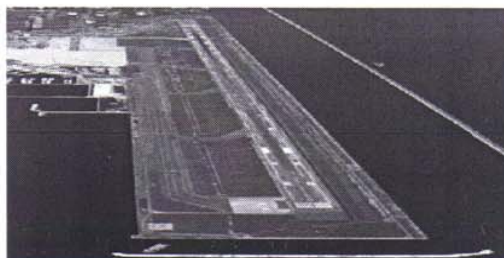




**POLITECNICO DI TORINO**  
**Corso di Laurea Magistrale**  
**in Ingegneria Civile**  
a.a. 2013-14



**Costruzione di Strade, Ferrovie ed Aeroporti (03ALVMX)**



**CORPO STRADALE**

**Stabilizzazione delle terre**

**GENERALITA'**

In presenza di un terreno di caratteristiche non idonee è possibile prevedere due alternative tecniche.

1. **SOSTITUZIONE CON MATERIALE DI CAVA** *NON POSSO SEMPRE SOSTITUIRE IL MATERIALE*
  - COSTI MOLTO ELEVATI, *ANCHE INFUNZIONE DELLA DISTANZA CAVA? CORPO STRADALE*
  - **PROBLEMI AMBIENTALI** (apertura cave di prestito, conferimento in discarica del rifiuto)

**2. STABILIZZAZIONE**

*MIGLIORARE LE CARATTERISTICHE MECCANICHE DEL TERRENO PER RENDERLO IDONEO ALL'IMPIEGO NELLE COSTRUZIONI.*



Processo che prevede l'aggiunta di materiali di apporto (leganti o frazioni granulometrica) allo scopo di migliorare le caratteristiche fisiche e meccaniche delle terre



FATTI PER QUEI TERRENI CHE PER LORO NATURA NON HANNO CARATTERISTICHE IDEALI (TERRENI COESIVI O PLASTICI)

## STABILIZZAZIONE CHIMICA

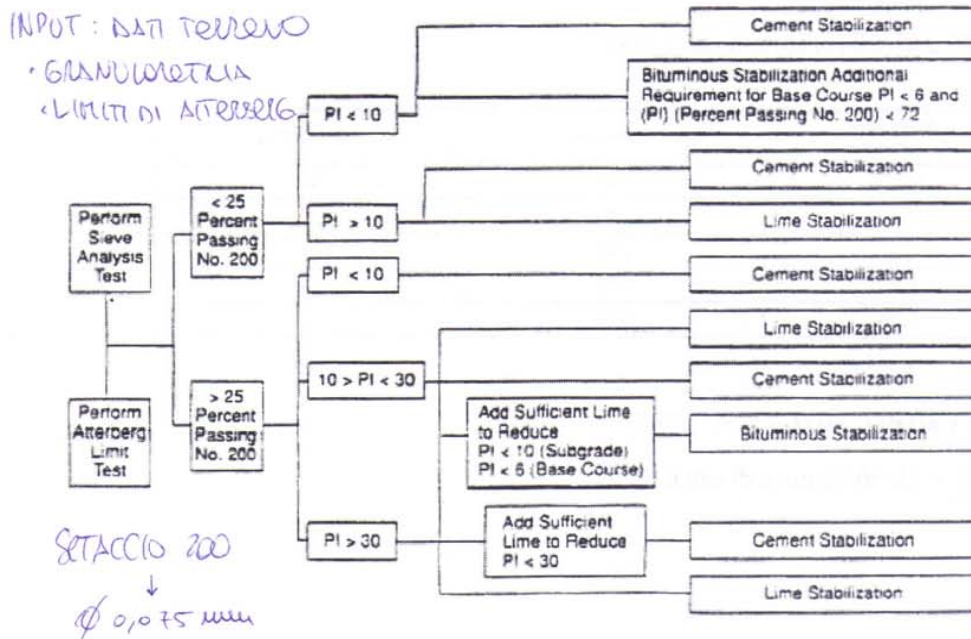
La scelta del tipo di additivo e del dosaggio dipende da diversi fattori quali:

- Natura e caratteristiche del terreno da stabilizzare *NON TUTTI I TERRENI SONO IDEALI PER ESSERE STABILIZZATI (CON CALCE, CEMENTO O BITUME)*
- Obiettivi della stabilizzazione (miglioramento delle proprietà a breve termine e/o lungo termine)
- Requisiti finali della miscela stabilizzata (resistenza, rigidezza)
- Costo e fattori ambientali *CONSIDERARE SEMPRE I COSTI*

## STABILIZZAZIONE CHIMICA

**Criteria di selezione del tipo di stabilizzazione**  
(Dept. Of the Army, 1983)

*LIME GUIDA PER LA SCELTA DELL'AGENTE CHIMICO DA USARE*



## LA REAZIONE CALCE + TERRENO PRODUCE DEGLI EFFETTI

- CAUSE = REAZIONE CHE AVVIENE NEL CONTATTO TERRENO + CALCE
- EFFETTI = CONSEGUENZE DELLE REAZIONI

### STABILIZZAZIONE CON CALCE

#### Effetti a BREVE TERMINE

- Variazione del contenuto d'acqua naturale LA CALCE ASCIUGA UN TERRENO ECCESSIVAMENTE UMIDO PER AVERE CHE  $W \rightarrow W_{OPT}$
- Variazione delle caratteristiche della terra - CARATTERISTICHE MECCANICHE -
  - GRANULOMETRIA
  - PLASTICITA'
  - COMPATTABILITA'
  - PROPRIETA' MECCANICHE

#### Effetti a LUNGO TERMINE (ANNI) / RIGIDITA' E RESISTENZA TERRENO

- Accrescimento delle proprietà meccaniche della terra conseguente all'azione pozzolanica della calce (LEGANTE IDRAULICO)

**ESSICCAZIONE** → RIDUZIONE DI W PER EFFETTO DI :

- FISSAGGIO CHIMICO: LA CALCE VIVA REAGISCE CON ACQUA FORMANDO LA CALCE SPENTA E TOGLIENDO ACQUA AL TERRENO
- EVAPORAZIONE: LA REAZIONE DI IDRATAZIONE DELLA CALCE E' FORTEMENTE ESOTERMICA, PRODUCE CALORE, AUMENTA LA TEMPERATURA E L'H<sub>2</sub>O EVAPORA.

LA CALCE VIVA E' MOLTO REATTIVA E PERICOLOSA DA USARE

### STABILIZZAZIONE CON CALCE

#### Meccanismi di Reazione a Breve Termine - CAUSE -

##### • **ESSICCAZIONE**

dovuta al  fissaggio chimico  dell'acqua ed alla  evaporazione  conseguente a un innalzamento della temperatura generato da una  reazione fortemente esotermica  (calce viva)



dopo 2h:  $\Delta w\% = 1$  o  $1.5\%$  per ogni  $1\%$  di CaO aggiunto. 1% IN PESO

OGNI 100 kg di terreno netto 1 kg di calce →  $\Delta w = 1 \div 1,5\%$   
2 kg di calce →  $\Delta w = 2 \div 3\%$

##### • **FLOCCULAZIONE**

dovuta allo scambio di ioni liberi in soluzione  $\text{Ca}^{++}$  con i cationi  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ , ecc., che consente la formazione, nelle primissime ore di trattamento, di legami tra le particelle disperse di argilla che vengono in tal modo  agglomerate agevolando le operazioni di miscelazione e compattazione .

##### • **Flocculazione**

AGGREGAZIONE DI PARTICELLE DELLA STESSA NATURA PER FORMARE ELEMENTI PIU' GROSSI, AVVIENE MEDIANTE LO SCAMBIO DI IONI LIBERI.

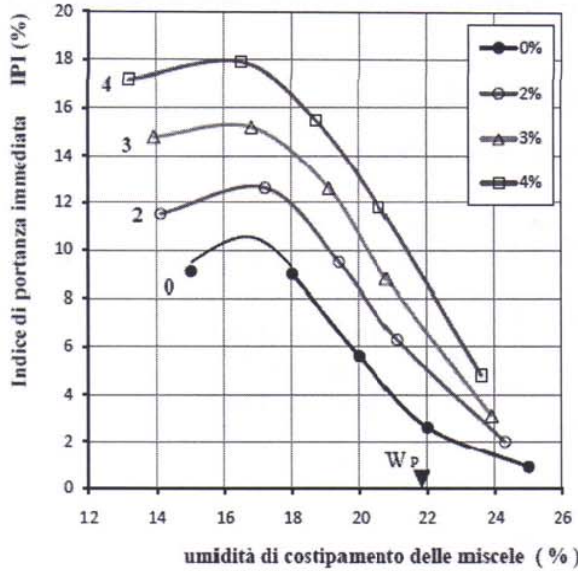


IPI = INDICE DI PORTANZA IMMEDIATO, VALUTATO SECONDO LA NORMA, È L'INDICE CBR MISURATO ENDO 90 MINUTI (TEMPO BREVE) DALLA MISCELATURA.

## TRATTAMENTO CON CALCE

### Effetti sulle Miscele a BREVE TERMINE

- 4 • miglioramento delle caratteristiche meccaniche



DEVO MISURARE IPI IN TEMPI BREVI  
 BEN PRECISI PERCHÉ IPI È  
 FUNZIONE DELL'EVAPORAZIONE

### Indice di Portanza Immediata IPI (EN 13286-47)

SE  $t > 90$  MINUTI SI SVILUPPANO  
 LE REAZIONI ED OTTENGO VALORI  
 NON CONFRONTABILI

IPI SERVE PER MIGLIORARE LE  
 PROPRIETÀ A BREVE TERMINE

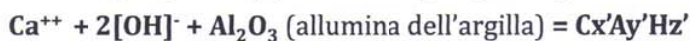
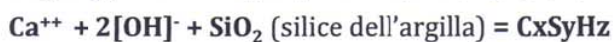
SE LA % DI CALCE AUMENTA,  
 $W_{opt} \approx$  COSTANTE MA IPI  $\uparrow$

## TRATTAMENTO CON CALCE

REAZIONE TRA CALCE E COMPOSTI  
 (SILICE, ALLUMINA) PRESENTI NEI  
 TERRENI ARGILLOSI

### Meccanismi di reazione a LUNGO TERMINE

Le reazioni tipiche tra calce e terreni argillosi sono rappresentate qualitativamente da



Silicati e alluminati  
 di calcio idrati

in cui gli indici x,y,z e x',y',z' variano a seconda che l'argilla sia una montmorillonite (molto reattiva), una caolinite (mediamente reattiva) oppure una illite (poco reattiva e difficilmente attaccabile).

### PARAMETRI CHE INFLUENZANO LAZIONE DELLA CALCE

- Superficie Specifica (elevata) Ecco perché richiedo  $p(10,063 \mu\text{m}) > 12\%$
- Carbonatazione (evitare l'esposizione all'aria)
- Durata del Trattamento
- Modalità di Compattazione
- Tenore d'Acqua
- Temperatura (le reazioni risultano accelerate di 4 volte passando da 10 a 20 °C e di 10 volte passando da 20 a 40 °C),
- Materie Organiche (composti azotati possono ritardare o inibire le reazioni)



BISOGNA DECIDERE SE IL TRATTAMENTO PRODURRA' REQUISITI A BREVE / LUNGO TERMINE

↳ PER IL RILEVATO: REQUISITI A BREVE TERMINE (DEVE ESSERE POSTO IN OPERA E COMPATTATO CON FACILITA')

## TRATTAMENTO CON CALCE

Progettazione di Trattamenti a Calce - **Impiego in rilevato**

REQUISITI DI BREVE TERMINE (per la posa in opera e la compattazione)

MIX DESIGN PER REQUISITI A BREVE

↳ **Soil Improved by Lime** TERRENO MIGLIORATO CON CALCE TERMINE.

**Indice di portanza immediato - IPI (valutato non oltre 90 minuti dalla compattazione)**

Immediate bearing index	Category*
≥ 5	IPI <sub>5</sub>
≥ 7	IPI <sub>7</sub>
≥ 10	IPI <sub>10</sub>
≥ 15	IPI <sub>15</sub>
≥ 20	IPI <sub>20</sub>
≥ 25	IPI <sub>25</sub>
Declared value	IPI <sub>DV</sub>

→ \* La categoria va stabilita in progetto DA NOI

## TRATTAMENTO CON CALCE

Progettazione di Trattamenti a Calce - **Impiego in rilevato**

REQUISITI DI BREVE TERMINE (per la posa in opera e la compattazione)

↳ **Soil Improved by Lime**

**Grado di compattazione** =  $\frac{\gamma_s \text{ DENSITA' EFFETTIVA}}{\text{DENSITA' MASSIMA AASHTO}}$  (%)

The ratio in % of the in situ dry density to the Proctor (see NOTE) dry density determined in accordance with EN 13286-2	Category*
≥ 95	DC <sub>95</sub>
≥ 97	DC <sub>97</sub>
Declared value	DC <sub>DV</sub>

(IPI, %-COMPATTAZIONE): REQUISITI DI PROGETTO IN BASE ALLA CATEGORIA RICHIESTA.

LE CLASSI SONO STABILITE A PRIORI DAL PROGETTISTA CHE, PER IL PROGETTO DELLA PRIVILEGIATAZIONE ASSUMERÀ DEI PARAMETRI (E...) CHE POSSONO ESSERE MISURATI DIRETTAMENTE O ATTRAVERSO

## TRATTAMENTO CON CALCE

CORREZIONI EMPIRICHE.  $E = 10 \text{ CBR}$   
[MPa]

### Progettazione di Trattamenti a Calce - Impiego in strati di sottofondo

REQUISITI DI LUNGO TERMINE - regole di carattere STRUTTURALE -

Indice CBR (prova eseguita dopo maturazione e successiva saturazione)

CBR requirement after 4 days soaking (or other longer specified period)	Class *
$\geq 15$	CBR <sub>15</sub>
$\geq 20$ and not less than the immediate bearing index	CBR <sub>20</sub>
$\geq 30$ and not less than the immediate bearing index	CBR <sub>30</sub>
$\geq 40$ and not less than the immediate bearing index	CBR <sub>40</sub>
$\geq 50$ and not less than the immediate bearing index	CBR <sub>50</sub>
Declared value (but not less than 15)	CBR <sub>DV</sub>

IL CAMPIONE È PRESSO IN ACQUA PER 4 GIORNI.

DEL COLLEGARE È (NOTO) CON CBR  $E = 150 \text{ MPa}$

Resistenza a compressione (prova eseguita dopo maturazione e successiva saturazione)

Compressive strength	Class *
$\geq 0,2 \text{ MPa}$	R <sub>c</sub> 0,2
$\geq 0,5 \text{ MPa}$	R <sub>c</sub> 0,5
$\geq 1,0 \text{ MPa}$	R <sub>c</sub> 1,0
Other declared value but not less than 0,2 MPa	R <sub>c</sub> DV

IL CBR RICHIESTO NEL CAPITOLO CBR  $\geq 15$

LEGO IL PROGETTO AL REQUISITO TECNICO

(PERCHÉ LA CALCE IDRATA, OTTENGONO POCO L'ESSICCATO)

## TRATTAMENTO CON CALCE

### Progettazione di Trattamenti a Calce - Impiego in strati di sottofondo

REQUISITI DI LUNGO TERMINE

R = CARATTERISTICA MECCANICA (es. CBR, E...)

#### Stabilità all'acqua

$$I_m = \frac{R(x+14i)}{R(x+14)} \geq 0,8$$

i = immersione

L'ACQUA INDEBOLISCE I LEGAMI TRA LEGANTE E TERRENO E DIMINUISCE LE PROPRIETÀ.

LE CARATTERISTICHE DEVONO DIMINUIRE MENO < 20%

#### Stabilità al gelo

$$I_g = \frac{R(x+1i+13g)}{R(x+14i)} \geq 0,8$$

g = gelo

CHE EFFETTO HA LO STABILIMENTO DELLA MISCELA?

BREVE TERMINE		LUNGO TERMINE	
$W_{0,9}$		CBR <sub>15</sub>	
IP <sub>5</sub>		R <sub>c</sub> < 0,5	

TERRENO	% CALCE	% W	CONTRASTO % C ÷ % W
	% C <sub>1</sub>	% W <sub>1</sub>	% C <sub>1</sub> ÷ % W <sub>1</sub>
	% C <sub>2</sub>	% W <sub>2</sub>	% C <sub>2</sub> ÷ % W <sub>2</sub>
	⋮	⋮	

OTTENGO UNA COMBINAZIONE (% C ÷ % W) CHE, A PARITÀ DI REQUISITI MINIMI RICHIESTI, HA IL MINOR VALORE DI CALCE.



SIFA UN DOSAGGIO

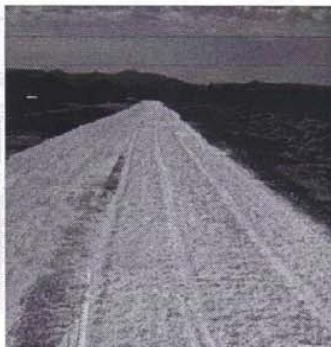
kg calce / m<sup>2</sup>

## TRATTAMENTO CON CALCE

### 2. Spandimento della Calce e dell'Acqua

- metodo "ASCIUTTO" (in assenza di vento); distribuzione di sacchi di calce sulla superficie da trattare secondo il dosaggio previsto al mq oppure facendo uso di apposito spanditore meccanico; spandimento non superiore a quello della superficie lavorabile in 1 giorno per evitare asportazioni a causa del vento e CARBONATAZIONI;
- metodo "BAGNATO" (in zone ventose); preparazione delle miscele acqua-calce in MESCOLATORI CENTRALI in movimento continuo per evitare SEDIMENTAZIONI durante lo stoccaggio.

BAGNO LE POLVERI PER EVITARE CHE SI DISPERSIONO, perché:



- costo della calce
- sicurezza operatori (umidità ambiente)

## TRATTAMENTO CON CALCE

### 3. Miscelazione e Polverizzazione *suvegno insere*

Una miscelazione uniforme è garantita da una adeguata polverizzazione della terra in sito, quindi per terre fortemente argillose si procede in due tempi:

- prima aggiunta di calce (ed eventualmente di acqua) che da inizio al processo di polverizzazione;
- dopo 24 - 48 ore seconda aggiunta di calce che può omogeneizzarsi meglio fino alla riduzione delle zolle di argilla in forma sabbiosa passante almeno al 60% al setaccio 4 ASTM.





IL CEMENTO FA PRESA CON L'ACQUA (LA CALCE): LA STABILIZZAZIONE AUMENTA LE CARATTERISTICHE MECCANICHE, MA QUESTO TRATTAMENTO È POCO USATO, E VIENE USATO SOLO PER GLI STRATI DI FONDAZIONE.

## STABILIZZAZIONE CON CEMENTO

Perché?

A differenza della calce, il cemento dà origine ad un vero e proprio fenomeno di presa con notevole incremento delle caratteristiche meccaniche.

1) PROCESSO DIFFICILE DA TUTTARE PERCHÉ IL CEMENTO È PIÙ SENSIBILE AI FATTORI CONTAMINANTI

### FATTORI CHE INCIDONO SULLE CARATTERISTICHE DELLE MISCELE

1. Tipo di terreno
2. Contenuto di cemento
3. Contenuto d'acqua
4. Corretto sviluppo della presa e della maturazione

(ORGANICI, SOLI FUORI)  
E C'È IL RISCHIO CHE IL TRATTAMENTO FALLISCA.

È possibile stabilizzare con cemento una vasta gamma di terreni; ne sono esclusi:

2) IL CEMENTO COSTA DI PIÙ DELLA CALCE.

- TERRENI MOLTO PLASTICI (IP > 15)
- TERRENI CONTENENTI SOLFATI E MATERIE ORGANICHE

## STABILIZZAZIONE CON CEMENTO

### STUDIO DI MISCELA (UNI EN 14227-10:2006)

- Dosaggio di cemento
- Contenuto d'acqua

IMPORTANTE DEFINIRE IL PERIODO DI MATURAZIONE.

## STABILIZZAZIONE CON CEMENTO

REQUISITI SULLA MISCELA STABILIZZATA - **Indice CBR** (dopo condizionamento)

CBR requirements	Class *
No requirement	CBR <sub>NR</sub>
≥ 15	CBR <sub>15</sub>
≥ 20	CBR <sub>20</sub>
≥ 30	CBR <sub>30</sub>
≥ 40	CBR <sub>40</sub>
≥ 50	CBR <sub>50</sub>
≥ 60	CBR <sub>60</sub>
≥ 70	CBR <sub>70</sub>
≥ 80	CBR <sub>80</sub>
Declared value	CBR <sub>DV</sub>

Curing regime	Curing period (days) cured at 20 °C	
	Without change in water content	In water
A	7	0
B	7	21
C	7	28
D	14	14
E	3	4
F	3	25
G	3	88

Il regime di condizionamento va scelto in funzione della severità delle condizioni di impiego

L'INFRASTRUTTURA DEVE ESSERE CORRELATA CON LE OPERE DI PRESIDIO IDRAULICO CON FUNZIONE DI PROTEZIONE DEL CORPO STRADALE ED AMBIENTALE CIRCO STANTE:  
 → LIMITARE LE CONSEGUENZE DELLE INTERFERENZE

## GENERALITA'

### Opere per la raccolta e l'allontanamento di acque superficiali

- cunette
- arginelli ed embrici
- fossi di guardia
- pozzetti

### Opere per l'attraversamento di corsi d'acqua

- tombini
- ponticelli
- ponti
- viadotti

Aspetti strutturali ed idraulici che esulano dalla tecnica stradale

### Opere per la raccolta di acque profonde

- drenaggi

IMPEDIAMO L'ACQUAPIANING

IN RETTIFILLO  $i_t = 2,5\%$ , SERVE PER ALLONTANARE L'ACQUA ED È FUNZIONE DELL'ALTEZZA DEL VELO IDRICO

$L$  = LUNGHEZZA MASSIMA CHE L'ACQUA PERCORRE SULLA SUPERFICIE STRADALE

PER EFFETTO DELLA DOPPIA PENDENZA, LA GOCCIA D'ACQUA PERCORRE  $L$  PRIMA DI ARRIVARE AL CIGLIO ESTERNO (TUTTE LE ALTRE GOCCE PERCORRERANNO  $L_i < L$ ).

SE  $y$  È ECCESSIVAMENTE SPESO INCIDE NEGATIVAMENTE SULL'ADERENZA TRA PNEUMATICO E PAVIMENTAZIONE

## ACQUE SUPERFICIALI

$A$  = ADERENZA, COSTANTE FONDAMENTALE PER IL ROTO

### Acque di piattaforma e velo idrico

La pendenza trasversale della piattaforma stradale consente l'allontanamento delle acque presenti in superficie ed il controllo del velo idrico (DM 5/11/2001 -  $i_t > 2,5\%$ )

$$y = 0,047 \cdot \sqrt{L \cdot j} \cdot i_L^{-0,2}$$

Altezza velo idrico (mm)

$j$  = intensità di precipitazione (mm/h)

$i_L$  = pendenza geodetica (m/m)

$L$  = lunghezza del percorso d'acqua (m)

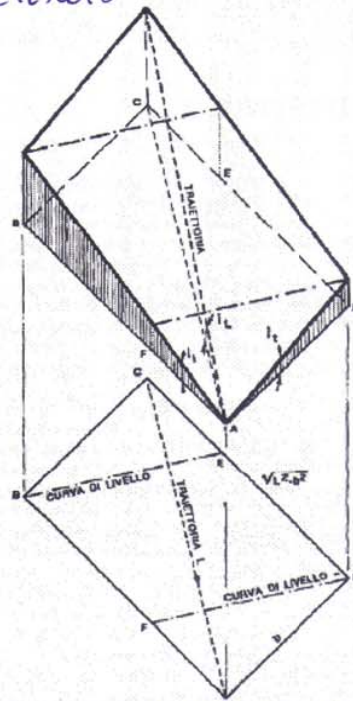
$$L = b \cdot \left[ 1 + \left( \frac{i_t}{i_l} \right)^2 \right]^{1/2}$$

$$i_L = \sqrt{i_t^2 + i_l^2}$$

$i_l$  = pendenza longitudinale (m/m) ASSE STRADALE

$i_t$  = pendenza trasversale (m/m) DELLA SEZIONE

$b$  = larghezza falda stradale (m)

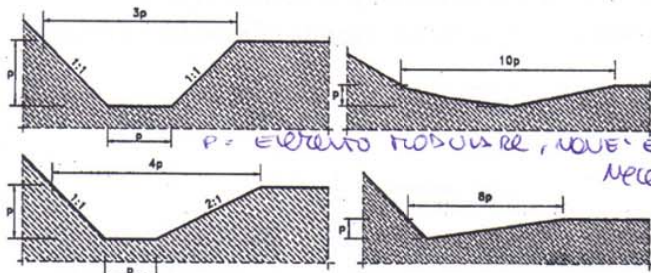


L'ADERENZA È FUNZIONE DELLE CARATTERISTICHE TRA LE 2 SUPERFICI (ASCIUTTO, BAGNATO) E SE C'È UN VELO IDRICO, LA SUPERFICIE ASCIUTTA SI RIDUCE.



## ACQUE SUPERFICIALI

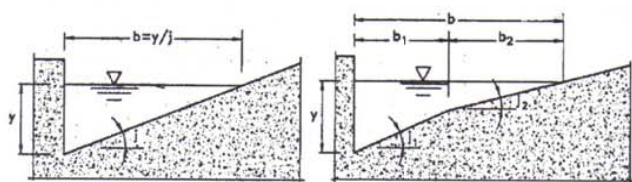
### CUNETTE



Tipologie CNR

INDICATE DALLA NORMA

*p = ESTREMO MODERATO, NON È ESPLICITATO PERCHÉ È NECESSARIO PROGRAMARE P IN FUNZIONE DELLE PORTATE DA SOSTENERE*



Alla francese



A profilo curvo

*LE CUNETTE SIMILANO IN RILIEVO PER INTERDIRE CHE IL DEFUSSO LATERALE DELLE ACQUE DI PIATTAFORMA VADA A INVASARE USURPATA (RUSCIAMENTO, EROSIONE...) L'ACQUA SCORRE IN DIREZIONE CONCORRE CON LA P<sub>c</sub> DELLA STRADA.*

## ACQUE SUPERFICIALI

### CUNETTE - Esempi



CUNETTA RIVESTITA IN PIETRA



CUNETTA RIVESTITA IN CLB *CONGLOMERATO BITUMINOSO*



CUNETTA RETTANGOLARE IN ELEMENTI PREFABBRICATI IN CLS



CUNETTA TRIANGOLARE IN CLS GETTATO IN OPERA (CASSERI SCORREVOLI)

## ACQUE SUPERFICIALI

### ARGINELLI E SISTEMI DI SCARICO - Esempi



INVITO



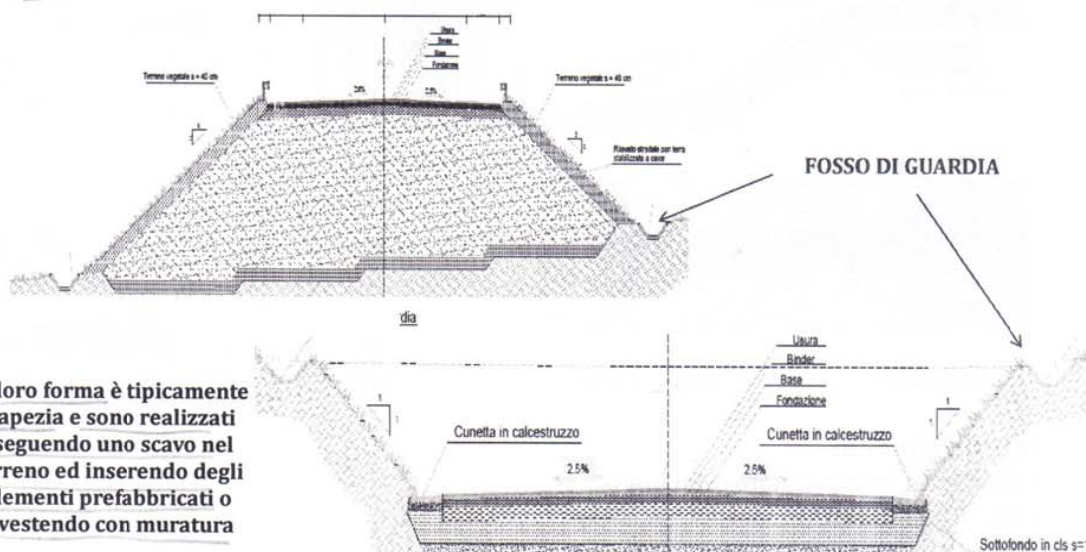
CANALETTA AD EMBRICI  
PREFABBRICATI

EVIANO L'ACCUMULO DI ACQUA AL PIEDE DEL RILEVATO O SEMIOLATRINCEA.  
LA FORMA TRAPEZIA È FATTA CON MACCHIOSCHI VATICI, RIVESTITI CON SCOCCHI.

## ACQUE SUPERFICIALI

### FOSSI DI GUARDIA

I fossi di guardia sono elementi posti a monte delle scarpate in scavo o al piede delle scarpate in rilevato, allo scopo di raccogliere le acque provenienti da monte, evitando che esse invadano la strada posta in trincea o di ristagnare alla base dei rilevati.



La loro forma è tipicamente trapezia e sono realizzati eseguendo uno scavo nel terreno ed inserendo degli elementi prefabbricati o rivestendo con muratura



FUNZIONE TOBINI - ISPEZIONE del manufatto idraulico  
- RACCOLTA del materiale solido

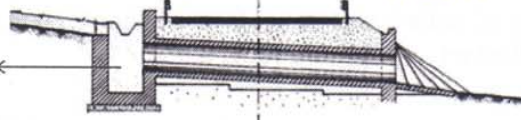
## OPERE DI ATTRAVERSAMENTO

### TOMBINI - Dettagli costruttivi

N.B. i tombini vengono fatti prima del riparto del terreno

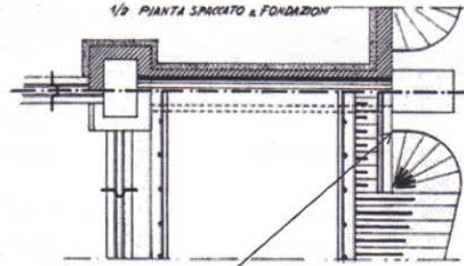
Forchiglie le acque che  
confluiscono nel fondo di  
quondina

POZZETTO  
(ispezione, deposito  
materiale solido)



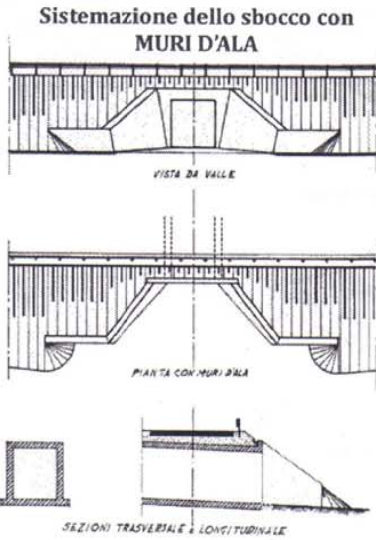
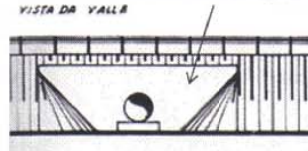
SEZIONE LONGITUDINALE

1/2 PIANTE SPACCO & FONDAZIONI



Sistemazione dello sbocco con  
MURI ANDATORI

SEZIONE  
TRASVERSALE

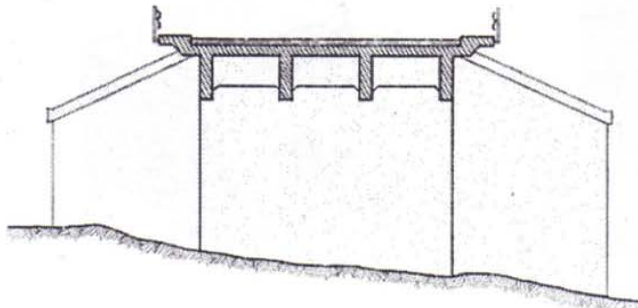


## OPERE DI ATTRAVERSAMENTO

**PONTICELLI** *intermedio fra Ponte e Tombini*

Si tratta di attraversamenti realizzati con manufatti aventi luce > 4 m (per luci superiori a 10 m si parla di PONTI)

*Emblema del nostro corso.*



Esempio di ponticello con  
impalcato a trave



## DIMENSIONAMENTO IDRAULICO

### Tempo di corrivazione $T_c$

*funzione delle caratteristiche del bacino e dell'intensità di pioggia*

È il tempo necessario alla particella di pioggia che cade nel punto **idraulicamente più lontano** per raggiungere la sezione di chiusura del bacino.



La massima portata si raggiunge quando alla sezione considerata arrivano tutti insieme i contributi di tutte le parti che costituiscono il bacino.



$Q_{max} = Q_{max}(T_c)$  La portata massima si ha per  $t = T_c$  *Tutti i contributi caduti sono arrivati alla sezione di chiusura.*

*lo portate cresce fino a quando arrivano i contributi di zone sempre più lontane*

Superato il tempo di corrivazione la portata si attesta sul valore massimo per poi decrescere al cessare dell'evento.

*Quando smette di piovere, la portata non diventa istantaneamente nulla ma decresce.*

*Dato il bacino idraulico, devo scegliere la formula che mi adotta meglio al tipo di opera.*

*L = distanza tra 2 elementi (pozzi) successivi di interruzione*

## DIMENSIONAMENTO IDRAULICO

### Tempo di corrivazione $T_c$ - FORMULE SPERIMENTALI -

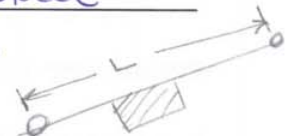
*BACINI MOLTO PICCOLI*

#### FORMULA DEL MARYLAND (cunette e fossi di guardia)

$$T_c = 26,3 \cdot \frac{\left(\frac{L}{K_s}\right)^{0,6}}{i^{0,4} \cdot i_p^{0,3}}$$

L = lunghezza della cunetta o della superficie scolante (m)  
 $K_s$  = coefficiente di resistenza di Gauckler - Strickler ( $m^{1/3}/s$ )  
 (70-75 per rivestimenti in clb, 2-5 per superfici erbose)  
 i = intensità di pioggia (m/h)  
 $i_p$  = pendenza media della superficie scolante

*↓ dipende dal materiale di rivestimento*



#### FORMULA DI KIRPICH (piccoli bacini < 10 km<sup>2</sup>)

$$T_c = 0,95 \cdot \frac{L^{1,155}}{d^{0,385}} \cong 0,066 \cdot L^{0,77} \cdot \left(\frac{d}{L}\right)^{-0,375}$$

L = lunghezza dell'asta principale (km)  
 d = dislivello dell'asta principale (m)

#### FORMULA DI GIANDOTTI (bacini estesi)

$$T_c = \frac{4 \cdot \sqrt{S} + 1,5L}{0,8\sqrt{H-Z}}$$

S = estensione del bacino (km<sup>2</sup>)  
 L = lunghezza dell'asta principale (km)  
 H = altitudine media del bacino (m s.l.m.)  
 Z = altitudine della sezione di riferimento (m. s.l.m.)

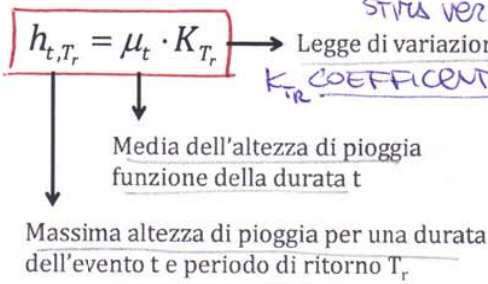
*la scelta della formula è fondamentale perché può portare ad ERRORI PROGETTUALI: devo fare più tentativi e scegliere la PIÙ SICURA.*

## DIMENSIONAMENTO IDRAULICO

### Legge di probabilità pluviometrica

↳ Stima della massima precipitazione associata ad un periodo di ritorno  $T_r$

### METODO DI GUMBEL



CONSENTE DI PROIETTARE UNA DETERMINATA STIMA VERSO UN ORIZZONTE TEMPORALE PIÙ AMPIO

$M = 10$  ANNI DI DATI  
↳ STIMO PER 10 ANNI  
Se  $T_r = 50$  anni, proietto la stima dei 10 anni per un

$T_r = 50$  anni, per il quale NON ASSIARCO DATI.

Idrovia disponibile non ci consentano di contenere il  $T_r$ .

$M_r$  = MEDIA, calcolata sulla base dei nostri DATI sperimentali in un tempo  $t < T_r$ .

$T_r$  = parametro ipotetico

$K'$  = determinato sulla base statistica

## DIMENSIONAMENTO IDRAULICO

### Calcolo di $K_{T_r}$

Si utilizza la formula

$$K_{T_r} = \frac{1 - K' \cdot \log \left( \ln \left( \frac{T_r}{T_r - 1} \right) \right)}{1 + 0,251 \cdot K'}$$

da cui

$$K' = \frac{1,795}{\left( \frac{1}{C_v} \right) - 0,45}$$

Coefficiente di variazione

$$C_{v,t} = \frac{S_t}{\bar{h}_t}$$

$$S_t = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (h_{t,i} - \bar{h}_t)^2}{n}}$$

deviazione standard

$$\bar{h}_t = \frac{\sum_{i=1}^n h_{t,i}}{n}$$

$$C_v = \frac{\sum_{t=1}^5 C_{v,t}}{5}$$

Valor medio dei coefficienti di variazione associata ad ogni singola durata

## DIMENSIONAMENTO IDRAULICO

### Calcolo della portata $Q'$ di deflusso

**FORMULA DI CHEZY** (*correnti a pelo libero*), non per i flussi in mensole

$$Q' = C \cdot A \cdot \sqrt{R_H \cdot i}$$

$A$  = area della sezione liquida ( $m^2$ ) *area compreso tra il pelo libero ed il perimetro bagnato*

$C$  = coefficiente di resistenza ( $m^{1/2}/s$ )

$R_H$  = raggio idraulico (=  $A/P$  con  $P$  perimetro bagnato) ( $m$ )

$i$  = pendenza longitudinale

### VERIFICA $Q' > Q$

## DIMENSIONAMENTO IDRAULICO

### Calcolo della portata $Q'$ di deflusso

#### RELAZIONE DI STRICKLER

$$C = K_s \cdot R_h^{1/6}$$

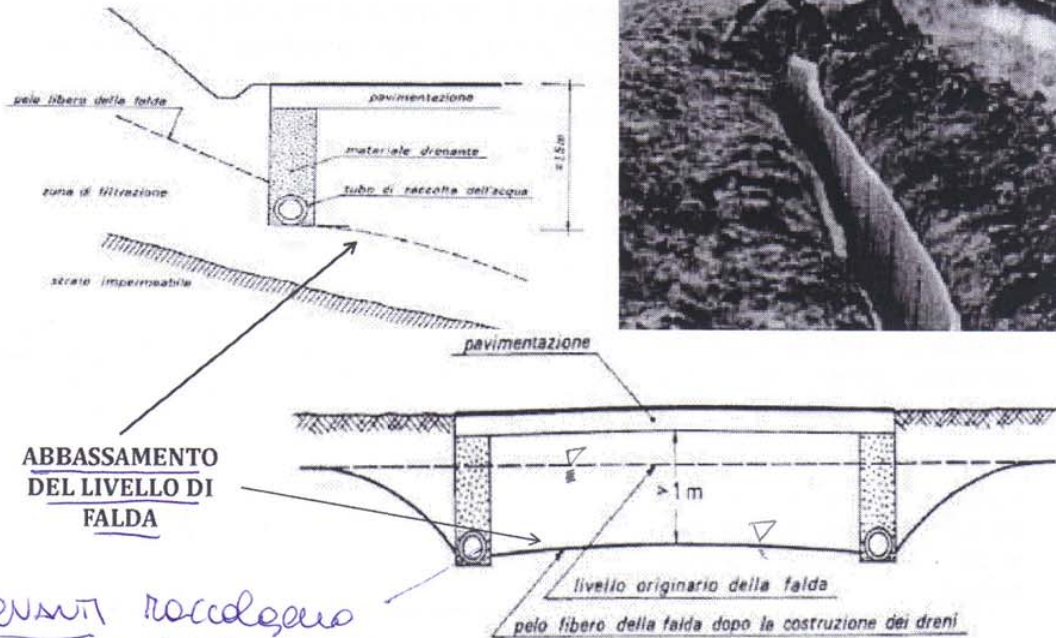
Natura delle pareti dell'opera	Coefficiente di scabrezza $K_s$
Intonaco liscio accuratamente lisciato	100
Intonaco cementizio liscio o tubi in ghisa nuovi	90
Rivestimento in muratura di mattoni eseguita con cura	80
Intonaco cementizio lisciato senza particolare cura	70 + 85
Tubi in lamiera o in ghisa	68 + 70
Calcestruzzo non intonacato	60
Muratura in pietra non intonacata	50
Ghiaia e sabbia	38 + 45
Roccia con sporgenza	15 + 30

TORBINI: mettere clune, dello spessore un FRANCO DI SICUREZZA per evitare problemi (concreti in mensole...)



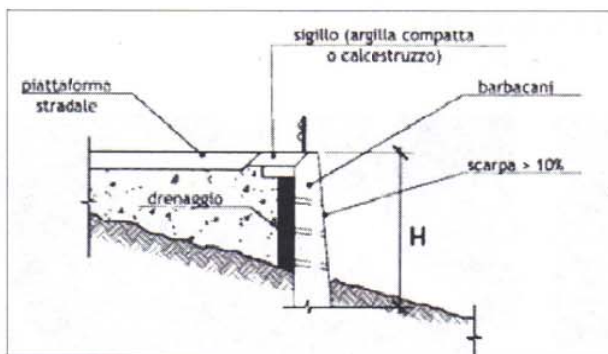
## ACQUE PROFONDE

### DRENAGGI



la falda quando alluvante crea il problema che il sottopavimento poggia su uno strato bagnato.  
Rivestire col geotessuto (prodotto di sintesi) impedisce il pomaggio di materiale solido: avere il livello di falda sotto il piano della pavimentazione è un grosso problema.

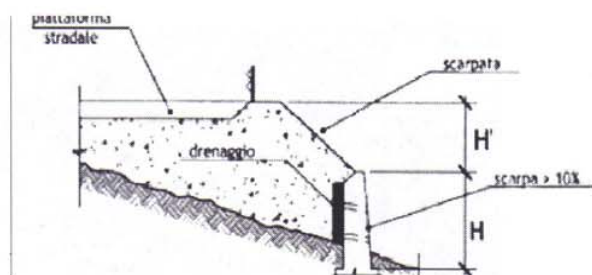
## TIPOLOGIE - Posizione



### MURI DI SOSTEGNO

Adottati nelle sezioni in rilevato in modo da costituire sostegno al terrapieno in assenza di scarpata

*Sostituirne completamente la scarpata*

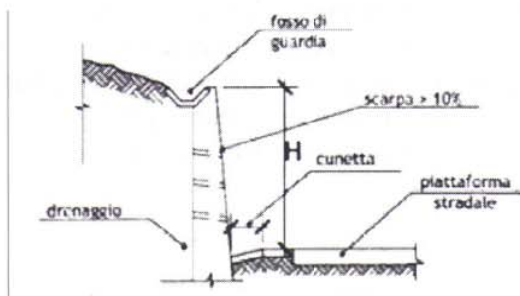


### MURI DI SOTTORIPA

Adottati nelle sezioni in rilevato in parziale sostituzione della scarpata.



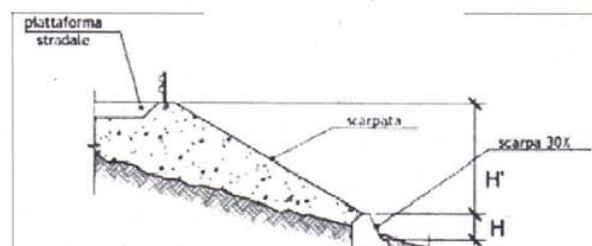
## TIPOLOGIE - Posizione



### MURI DI CONTRORIPA

Adottati nelle sezioni in scavo in modo da costituire sostegno al terreno a monte della piattaforma stradale

*Usati nelle trincee*



### MURI D'UNGHIA

Hanno il solo compito di realizzare un miglior ammassamento tra scarpata e terreno; di fatto non contribuisce alla diminuzione dell'ingombro del corpo del rilevato

*Muro che non svolge la funzione di contenimento ma serve per accostare la scarpata con il terreno, quando entrambi hanno una forte pendenza (naschierebbe uno spessore troppo ridotto che non riusciremo a compattare)*





PREFABBRICATI fatti in condizioni controllate, vantaggio notevole rispetto al getto in opera; materiali e condizioni di lavorazione controllate aumentano la qualità del manufatto.

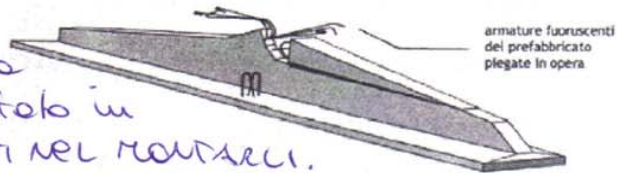
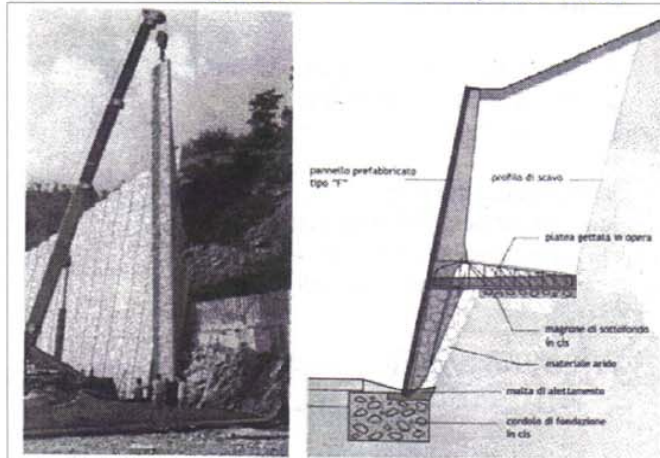
### TIPOLOGIE - Materiali e funzionamento statico

Pero' devono essere montati e trasportati, quindi devono avere delle sagome standard

#### MURI PREFABBRICATI

La costruzione dei muri prefabbricati in cls armato può essere totale o parziale, a seconda che tutti gli elementi del muro vengano prodotti in stabilimento (lasciando alle operazioni in cantiere solo le attività di sigillatura e finitura) o se una parte di essi sia realizzata in opera.

In entrambi i casi hanno struttura modulare, con altezza variabile e larghezza non superiore a 2,4 m (larghezza massima per il trasporto su strada).



Il manufatto prefabbricato ha una qualità maggiore di quello gettato in opera ma bisogna stare attenti nel montarli.

- Alle base del muro bisogna fare un corso di fondazione che permette di collegare i vari elementi;
- A metà dell'opera ci sono i ferri per fare la platea, dove sono viene verso il terreno.

### TIPOLOGIE - Materiali e funzionamento statico

#### MURI CELLULARI A GABBIA

Sono realizzati con elementi in cls costruiti in stabilimento e montati successivamente in opera.

Hanno la caratteristica di avere forma tale da permettere la crescita al loro interno di vegetazione e per tale motivo vengono utilizzati per realizzare pareti rinaturalizzate.

La loro struttura è realizzata mediante una intelaiatura di elementi prefabbricati in CLS, raggiunta sovrapponendo gli elementi modulari e riempiendoli al proprio interno di materiale naturale.



#### Vantaggi:

- versatilità
- facilità di impiego
- economicità,
- sicurezza statica

#### Svantaggi:

- necessitano di importanti movimenti di terra per la realizzazione dell'area di posa.

Muri cellulari

Prefabbricati montati e riempiti di terreno.

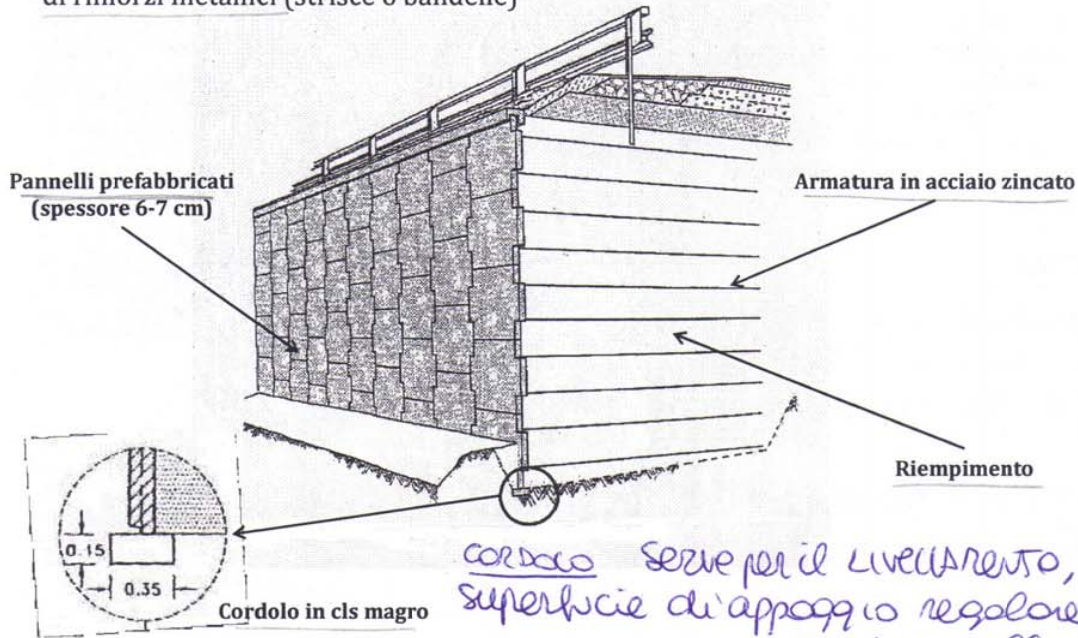
- FACILITÀ DI REALIZZAZIONE
- VALENZA ESTETICA (netto delle piante)



PANARMENTO fatto da pannelli prefabbricati dove su di essi vengono collegate delle armature, annegate nel terreno interno (CORPATATO)

**TERRE ARMATE**

La tecnica delle terre armate prevede la realizzazione di strutture per il contenimento di rilevati o scarpate, spalle di ponti, argini, attraverso l'utilizzo di rinforzi metallici (strisce o bandelle)

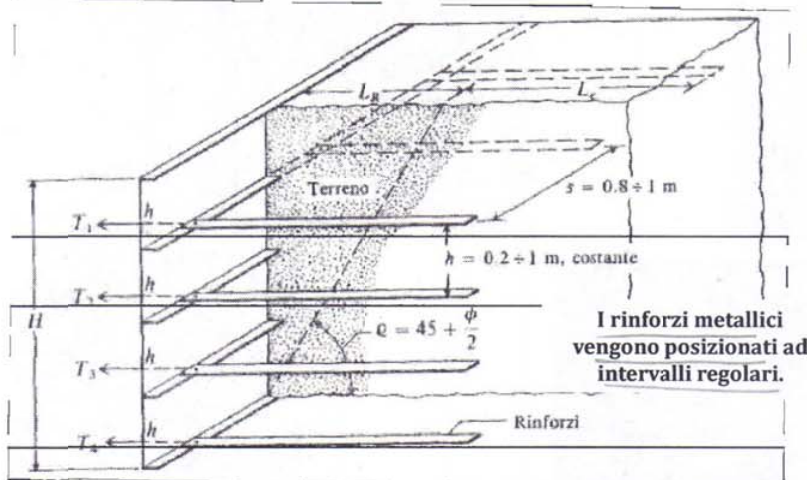


$H =$  altezza paramento = altezza muro

il meccanismo di rinforzo si ha grazie all'attrito tra la BANDELLA + terreno.

**TERRE ARMATE**

La tecnica delle terre armate prevede la realizzazione di strutture per il contenimento di rilevati o scarpate, spalle di ponti, argini, attraverso l'utilizzo di rinforzi metallici (strisce o bandelle)



Dislocazione bande in orizzontale e verticale

Il rinforzo della terra avviene attraverso l'attrito (sforzi di taglio) che si genera tra le armature di acciaio ed il terreno.

il terreno è parte integrante dell'opera di contenimento.

## TERRE ARMATE

### Progetto di un muro in terra armata

#### VERIFICHE ESTERNE

- verifica allo scivolamento;
  - verifica al ribaltamento;
  - verifica di capacità portante;
  - verifica di stabilità globale.
- Analoghe a quelle effettuate per i muri tradizionali

#### VERIFICHE INTERNE - specifiche del muro in terra armata

- verifica a rottura del rinforzo; / VERIFICA ALLO STRAPPO
- verifica allo sfilamento del rinforzo. RESISTENZA DI ATTRITO TRA BANDELLA E TERRENO DI RIPIENO

$K_0$  = COEFFICIENTE DI SPINTA A RIPOSO

$K_a$  = COEFFICIENTE DI SPINTA ATTIVA

$\varphi'$  = ANGOLO DI RESISTENZA AL TAGLIO DEL TERRENO DI RIPIENO

$K_0$  VARIA CON LEGGE LINEARE

- Per  $Z \leq 6m$   $K_0 > K_a$
- Per  $Z > 6m$   $K_0 \equiv K_a$

0 = ORIGINE, NON E' L'INIZIO FINCO DEL MURO MA CONSIDERO  $H_k = H_1 + \Delta H$

### TERRE ARMATE - Ipotesi di base (SEMPLIFICATE)

$K$  HA UNA LEGGE BILINEARE

VARIAZIONE DI SPINTA ATTIVA  
CON LA PROFONDITA'

#### COEFFICIENTE DI SPINTA

$$K_{0-z_0} = K_0 - \frac{K_0 - K_a}{z_0} z$$

$z_0 = 6m$

$$K_a = \frac{1 - \sin \varphi}{1 + \sin \varphi}$$

SCHEMI SEMPLIFICATI  
A FAVORE DI  
SICUREZZA

$f_0, f_a$  ATTRITO TRA BANDELLA E TERRENO

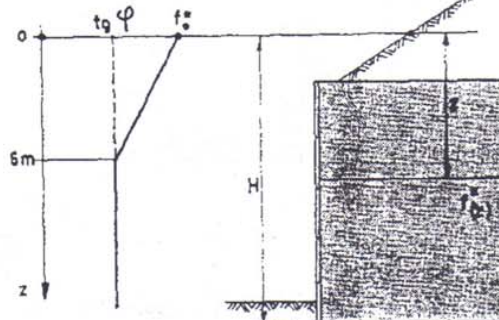
#### COEFFICIENTE DI ATTRITO

$$f_{0-z_0} = f_0 - \frac{f_0 - f_a}{z_0} z$$

$$f_a = \tan \varphi$$

$f_0$  = ATTRITO BANDELLA  
 $f_a$  = ATTRITO TERRENO

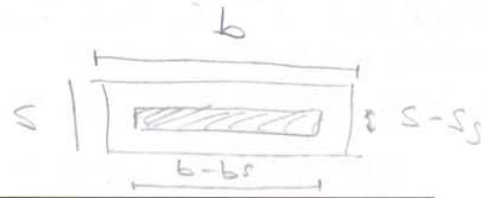
Per  $Z > z_0 = 6m$  la membrana tra bandella e terreno e' modellata solo dal terreno.





la bandella deve resistere a  $T_{max}$

$A_s = \text{area resistente BANDELLA}$



### TERRE ARMATE

#### Verifica a rottura del rinforzo (strappo)

$$A = b \cdot s$$

$$T_{max} < \frac{\sigma_{amm} \cdot A_s}{\gamma_F}$$

1,5 per strutture ordinarie  
1,65 per strutture sensibili

$$A_s = (b - b_s) \cdot (s - s_s)$$

Nei calcoli ( $b, s$ ) si riducono nel effetto della corrosione

Larghezza e spessore della bandella al netto della perdita per corrosione

la bandella non si deve sfilare dal terreno: si oppone l'attrito

$$F_r = 2 \cdot L_e \cdot (b - b_s) \cdot \gamma \cdot z \cdot f(z)$$

$2$  forze della bandella  
 $L_e$  solo coperte di bandella dentro la zona resistente  
 $(b - b_s)$  solo  
 $\gamma \cdot z$  coefficiente d'attrito  
 $f(z)$

$L_e(b - b_s)$  area delle superficie superiore ed inferiore della bandella  
 $\gamma_f = \text{COEFFICIENTE DI SICUREZZA}$

### TERRE ARMATE

#### Verifica allo sfilamento

$$T = K(z) \cdot \gamma \cdot z \cdot \Delta H \cdot \Delta V$$

Forza di trazione alla profondità z

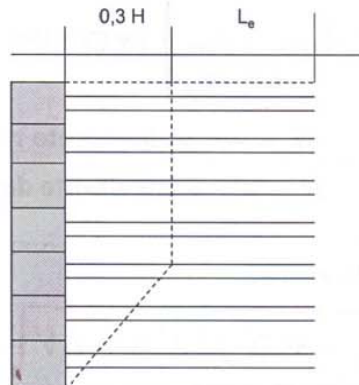
$$F_r = 2 \cdot L_e \cdot (b - b_s) \cdot \gamma \cdot z \cdot f(z)$$

Forza resistente alla profondità z

le varia con la profondità

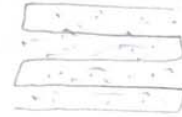
$$L_e = \frac{T_{max} \cdot \gamma_f}{2 \cdot (b - b_s) \cdot \gamma \cdot z \cdot f}$$

**Lunghezza efficace** - va calcolata per ogni bandella e sommata alla lunghezza ricadente nella zona attiva



Nota il tipo di bandelle, le dimensioni, la forza tensione ammissibile per progettare le  $L_e$ : ottergo diversi valori ed ASSUMO IL VALORE MASSIMO.

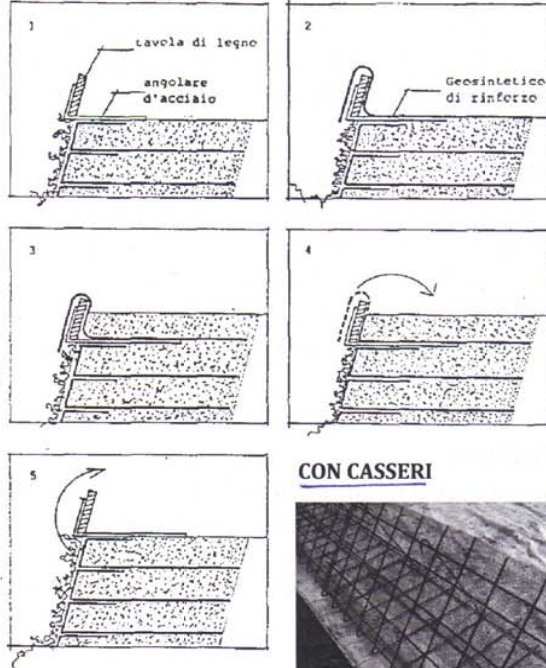
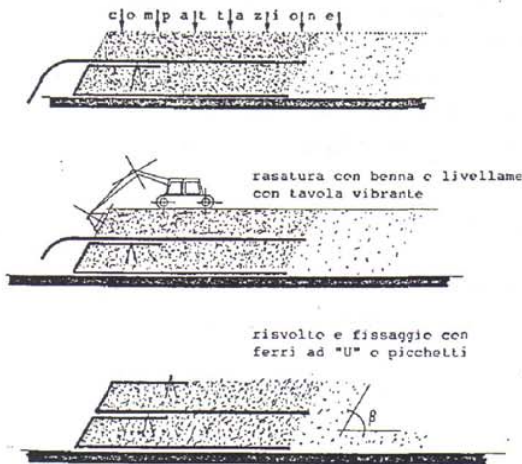
Ho più motivi di tenere uniti nel geotecnico (e così avere più motivi con la balena)



## TERRE RINFORZATE con Elementi Geosintetici

### TECNICHE DI REALIZZAZIONE (Esempi)

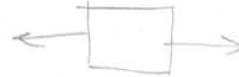
Possò avere penetrazione elevate (quasi in verticale) **SENZA CASSERI**



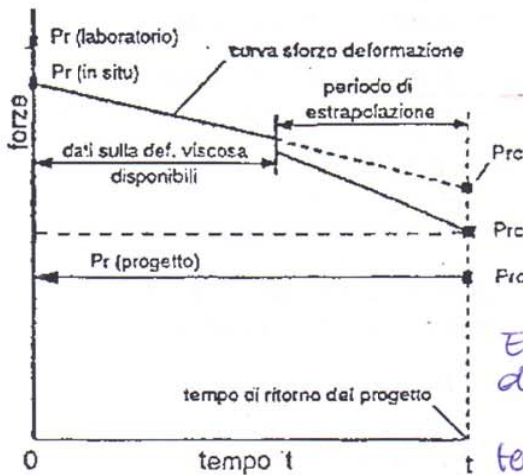
test: Sezione geotecnica, che abbia una determinata resistenza, voluta con prevedibilità

$P_r$  = VALORE DI ROTTURA NOMINALE IN LABORATORIO

Il geotecnico avrà un decaimento della resistenza, dov'equare questi decrementi.



### TERRE RINFORZATE



Nella progettazione del rinforzo occorre definire il corretto valore di resistenza individuando degli opportuni coefficienti riduttivi per assicurare un corretto comportamento del materiale in opera (il valore di rottura nominale  $P_r$  deve essere opportunamente ridotto)

Estropliano il valore attuale della viscosità.

tempo di servizio, VITA UTILE

Occorre considerare diversi coefficienti di sicurezza in relazione a:

- danneggiamenti subiti in fase di installazione (1,1 - 1,6)  $P_r(LAB) > P_r(SITU)$
- variazione delle caratteristiche a lungo termine (creep) (1,3 - 3)
- degradazione chimica e biologica (1,1 - 1,3)
- importanza dell'opera (1,15 - 1,2)

Perché ho dei danneggiamenti

Il geotecnico sono dei polimeri con proprietà viscosa dove la resistenza a trazione decresce nel tempo (il polimero si rullama)

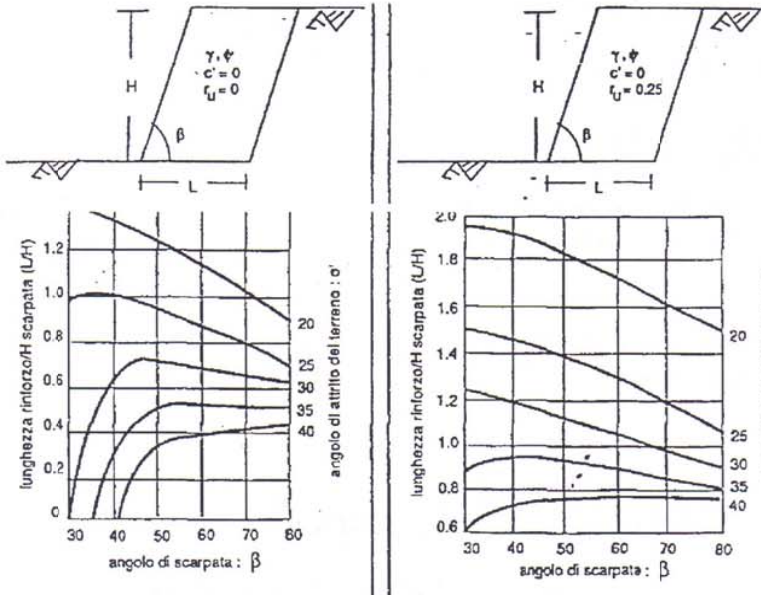


MOTO  $(\beta, \psi)$  →  $\frac{L}{H}$

H deep counterforce ANCHE LE SOVRACCARICO

## TERRE RINFORZATE

### Progetto di un muro in terra rinforzata



### ABACHI DI JEWELL

Calcolo del rapporto

$$\frac{L}{H}$$

noti

- angolo di scarpata
- angolo di attrito
- pressione interst.

Nel caso di presenza del sovraccarico

$$H' = H + q/\gamma$$

S = spessore degli strati, distanza verticale tra gli elementi.  
 $S = S(z)$  invece che usare lo stesso S, posso dividerlo il manufatto in parti con diverse spaziatore, con riduco il costo.

## TERRE RINFORZATE

### Progetto di un muro in terra rinforzata



### PROCEDIMENTO OPERATIVO

#### Lunghezza del rinforzo (L)

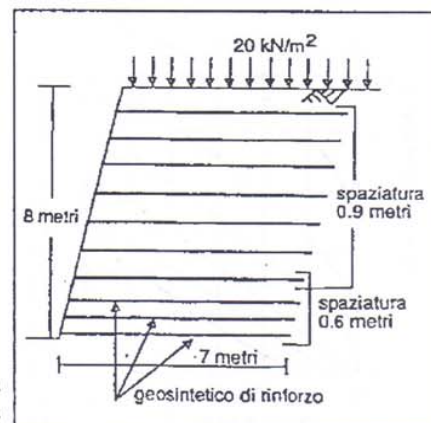
Da abaco si calcola il rapporto  $L/H$  ( $H'$ ) da cui L, nota la geometria del rinforzo (inclinazione  $\beta$ , altezza  $H$  o  $H'$ ), le caratteristiche del terreno (angolo di attrito  $\phi$ ) e pressione interstiziale  $u$

#### Spaziatura minima (S)

Da abaco si determina il coefficiente di spinta della terra  $k$ ; nota la resistenza di progetto  $P_r$  del geosintetico si ha

$$S = \frac{P_r}{k \cdot (\gamma \cdot z) + q}$$

Si può differenziare la spaziatura al variare della profondità



NON TESSUTO : ha un'architettura regolare, fibre lineari e  
solidali tra di loro.  
TESSUTI : architettura irregolare, fibre ANISOTROPE

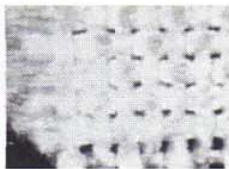
## GEOTESSILI

I geotessili (**Geotextiles, GTX**) sono prodotti piani costituiti da fibre o filamenti continui tessuti (*Woven, W*), non tessuti (*Non-Woven, NW*), o uniti mediante metodi meccanici (agugliatura) o termici (termosaldatura).

Il loro aspetto è simile a quello di un tessuto naturale e sono quindi caratterizzati da una grande flessibilità.



NON TESSUTO



TESSUTO

I non tessuti manifestano un comportamento isotropo, mentre i tessuti esplicano le resistenze maggior lungo due direzioni preferenziali (trama ed ordito)

I non tessuti sono caratterizzati da un maggior assortimento dei filamenti

I tessuti presentano una rigidità maggiore dei non tessuti

## GEOTESSILI

**FUNZIONI** servono per proteggere il corpo stradale.

**Separazione** - evitare la contaminazione di materiali aventi diversa granulometria posti a contatto (es. fondazione e sottofondo stradale) o impedire la risalita per capillarità della frazione fine all'interno del corpo del rilevato.

**Filtrazione** - permettere il passaggio dell'acqua trattenendo le particelle di terreno. Ad esempio, i geotessili sono utilizzati per proteggere gli strati drenanti nelle pavimentazioni stradali e le trincee drenanti, oltre che nella costruzione di geocompositi drenanti e dreni verticali.

**Rinforzo** - contribuire ad incrementare le caratteristiche di resistenza e deformabilità dei terreni (**terre rinforzate**)

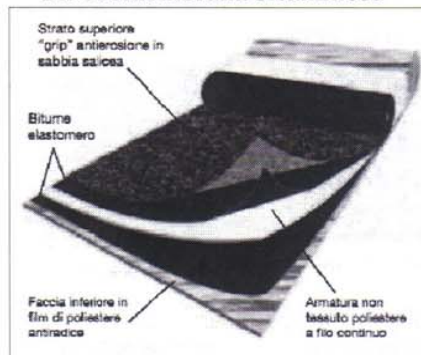


## GEOMEMBRANE

Le geomembrane sintetiche (*Syntetic Geomembranes, GMS*) sono fogli continui e impermeabili realizzati con uno o più materiali polimerici (plastomerici o elastomerici). Le geomembrane bituminose (*Bituminous Geomembranes, GMB*) sono invece costituite da un supporto (normalmente un geotessile) impregnato o rivestito da bitume modificato, ed un rivestimento con fogli antiaderenti



Es. Geomembrana bituminosa

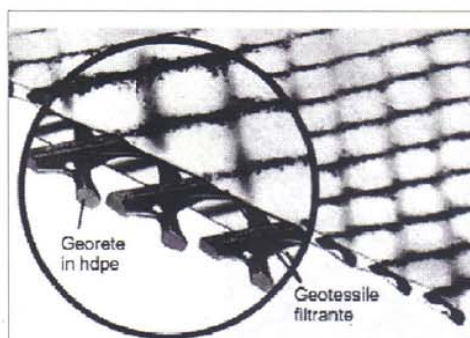


La funzione delle geomembrane è principalmente quella di **separazione ed impermeabilizzazione**.

## GEOCOMPOSITI

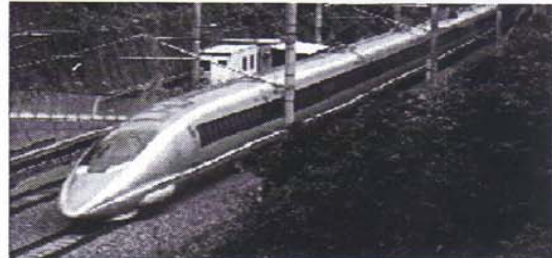
I geocompositi (*Geocomposites, GCO*) sono prodotti costituiti dalla combinazione di due o più tipi di geosintetici: geotessile-georete, geotessile-geogriglia, ecc.

I geocompositi drenanti sono costituiti da un nucleo ad elevata permeabilità in materiale plastico, incluso in un geotessile avente funzione di filtro.





**POLITECNICO DI TORINO**  
**Corso di Laurea Magistrale**  
**in Ingegneria Civile**  
a.a. 2013-14



**Costruzione di Strade, Ferrovie ed Aeroporti (03ALVMX)**



**SOVRASTRUTTURE**  
**STRADALI E AEROPORTUALI**

**Tipologie e prestazioni**

*Sovrastruttura: strutture che poggia sul sottofondo stradale e sulle quale passano i veicoli.*

- A. le azioni dei veicoli (Peso proprio e azioni dinamiche) vanno nello perimetrazione e nel sottofondo
- B. DEGRADO fenomeno inevitabile, dovuto alle azioni veicolari e dinamiche (AT...)

**GENERALITA'**

Per sovrastuttura o pavimentazione si intende la parte superiore del corpo stradale, normalmente realizzata in più strati, direttamente interessata dal moto dei veicoli.

**REQUISITI** *Requisiti da garantire sempre, a prescindere dalla tipologia di pavimentazione.*

**STRUTTURALI**

- A. capacità di trasmissione dei carichi veicolari al sottofondo;
- B. resistenza ai fenomeni di degrado strutturale;

**FUNZIONALI**

- C. regolarità e aderenza della superficiale viabile (comfort e sicurezza di guida) *SICUREZZA (SICUREZZA) e COMFORT (REGOLARITÀ), f. parametri funzionali*

*Differenza requisiti strutturali e funzionali?*

*FUNZIONALI: requisiti direttamente percepiti dall'utente, percepisci la regolarità etc.*

*STRUTTURALI: non sono percepiti dall'utente.*



## PAVIMENTAZIONE FLESSIBILE

Pavimentazione più diffusa, in conglomerato bituminoso.

### SCHEMA

Abbiamo strati con spessori e caratteristiche di diverse sottoposti fra di loro.

- FONDAZIONE strato non legato in misto granulare (MG)

<u>USURA</u>	Base collegamento e Usura formano il pacchetto bituminoso dove la percentuale di bitume cresce verso l'alto.
<u>COLLEGAMENTO (BINDER)</u>	• <u>BASE</u> - granulometria maggiore - Bana 7% di Bitume - Porosità ALTA
<u>BASE</u>	

- USURA - GRANULOMETRIA FINE  
- PERCENTUALE DI BITUME ALTA  
- POROSITÀ BASSA (STRATO CHIUSO)

Queste caratteristiche non variano per i manti drenanti

- COLLEGAMENTO caratteristiche intermedie fra 2.

## PAVIMENTAZIONE SEMIRIGIDA

Ho contratto di basestrato diviso in 2:

- STRATO IN MISTO GRANULARE (MG)
- STRATO IN MISTO CEMENTATO (M.C), è un misto granulare stabilizzato a cemento che fornisce una maggiore resistenza allo strato.

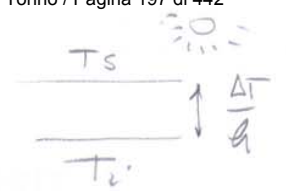
$$E_{MG} = 250 \text{ MPa} \quad E_{MC} = 1500/2000 \text{ MPa}$$

abbiamo l'ordine di grandezza di differenza.

Le pavimentazioni semirigide vengono usate nelle strade soggette a Forte TRAFFICO (AUTOSTRADA)

di spessore non funzione del progetto.

Anno forte  $\Delta T$  tra la sovrapposizione delle lastre: una  
 subira delle INFISSIONI  $\rightarrow$  TENSIONI  $\rightarrow$  STATI DI  
 COAZIONE



**TIPOLOGIE**

Per effetto di  $\Delta T$  stagionali

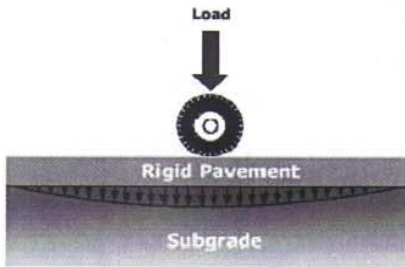
Ma abbiamo anche  $\Delta T$  stagionali + EFFETTI DI RITIRO,  
 $\Delta T$  COSTANTI che variano la lunghezza delle  
 lastre (accorciamento / allungamento)

- Elevata rigidità della lastra in cls
- Presenze di discontinuità (giunti)
- Tensioni indotte da gradienti termici (*curling*)
- Tensioni generate per attrito conseguenti  
 a ritiro e variazioni igrometriche (*warping*)

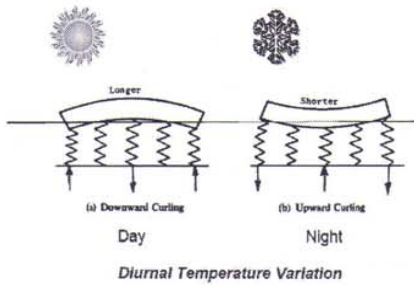
Il movimento  
 delle LASTRE E'  
 CONTRASTATO  
 DALLA  
 PRESENZA DI  
 ATTRITO

LASTRA = SOTTOFOSSO

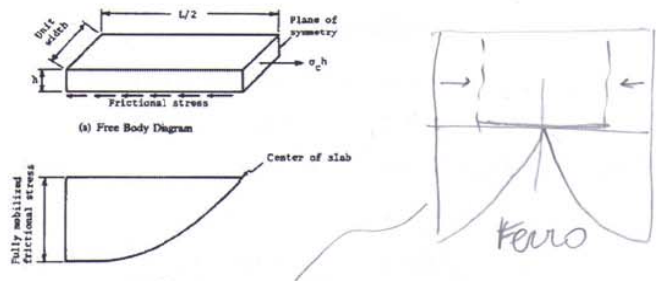
**RIGIDE**



**Temperature Curling**



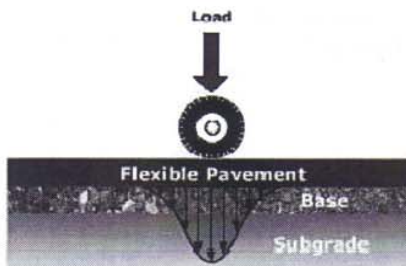
**Friction Stresses**



Variazioni di temperatura non lineari  
 = SFORZI AGGIUNTIVI.

**TIPOLOGIE**

**FLESSIBILI**



- Minore rigidità degli strati legati a bitume
- Comportamento visco-elastico
- Caratteristiche meccaniche degli strati  
 variabili con la temperatura
- Semplicità costruttiva e manutentiva

I moduli elastici  $E_i$  variano fortemente con  $\Delta T$   
 le caratteristiche meccaniche dei conglomerati bituminosi  
 sono funzione del tempo.

CONGLOMERATO BITUMINOSO, MATERIALE VISCOELASTICO (funzione del tempo)  
 TERMODIPENDENTE (funzione di T)

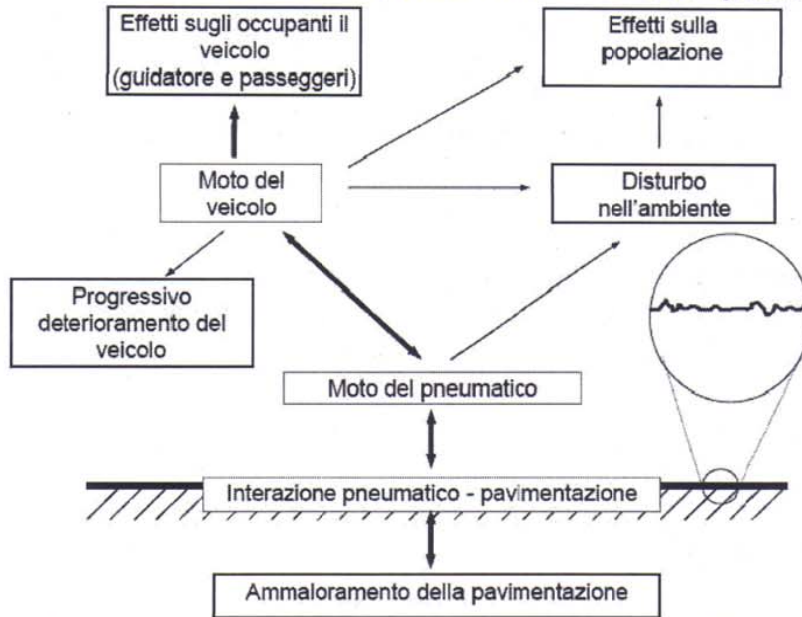
la differenza del c.b. delle pavimentazioni rigide e la  
 relativa SEMPLICITÀ COSTRUTTIVA e la FACILITÀ DI MANUTENTIONE.



La ruota che interagisce nella pavimentazione modella le mosse di venni effetti nell'ambiente e nella pavimentazione. Queste MUTUE INTERAZIONI condizionano la risposta strutturale e strutturale della pavimentazione stessa.

**PRESTAZIONI**

Questo risposte variano progressivamente e sono funzione di diversi fenomeni:



IS è un indicatore di stato, è una grandezza / parametro che ci dice qual'è il livello di risposta della pavimentazione.

Bisogna conoscere l'evoluzione di IS nel tempo.

La prestazione non è solo funzione del valore della prestazione attuale MA anche di come evolve la prestazione nel tempo.

**PRESTAZIONI**

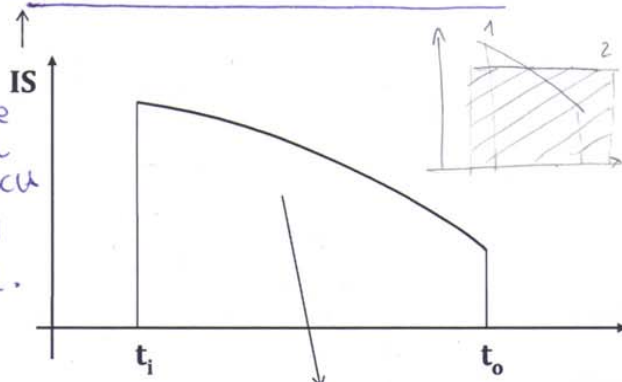
Tutte le pavimentazioni si deteriorano nel tempo.

La prestazione di una sovrastruttura si correla con l'attitudine a mantenere nel tempo una o più determinate caratteristiche, ciascuna delle quali si può esprimere attraverso un parametro fisico e misurabile, che assume il ruolo di indicatore di stato (IS).

IP → REQUISITO STRUTTURALE = CAPACITÀ PORTANTE

→ REQUISITO FUNZIONALE: ASERENZA

**LIVELLO DI RISPOSTA AD UN DATO ISTANTE**



ALLA VARIAZIONE DI RISPOSTA NEL TEMPO SI ASSOCIA IL TERMINE DI PRESTAZIONE.

**INDICE DI PRESTAZIONE**

$$IP = \int_{t_i}^{t_o} IS(t) dt$$

Però confrontare 2 pavim. diverse solo se conosci IS e IP

**DECADIMENTO DELLA RISPOSTA NEL TEMPO PER EFFETTO DEL TRAFFICO E DELLE CONDIZIONI AMBIENTALI**

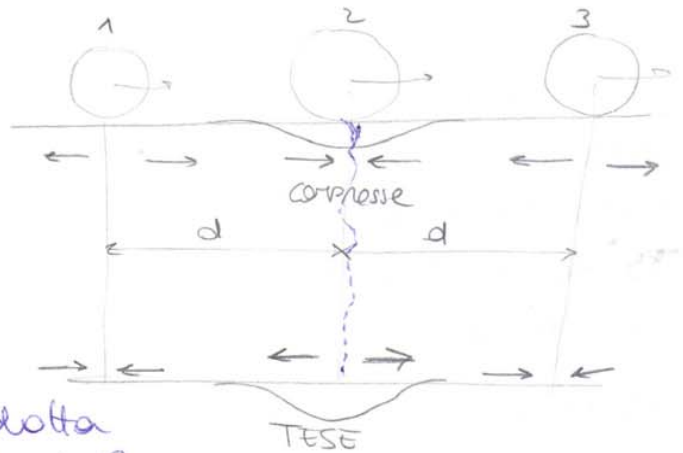
La pavimentazione 2 ha un'area maggiore. All'inizio  $IS_1 > IS_2$  MA poi  $IS_1$  decade velocemente puntualmente è meglio la PAV. 1, MA INTERINI DI SERVIZIO è meglio la PAV. 2

## ROTTURA PER FATICA

Prodotto dalle azioni di TRAFFICO e AMBIENTE  
la pavimentazione è allo stato ultimo.

Come si manifesta?

vediamo una fessura in  
superficie; quando si  
manifesta il perché ha  
raggiunto lo S.L.U  
di servizio.



La rottura per fatica è prodotta  
dal ripetuto passaggio dei veicoli

perché abbiamo alternanze di zone di T/C.

Questa rottura riguarda gli strati legati perché quelli  
non legati non restano a mo' di base.

2. la pavimentazione si inflette

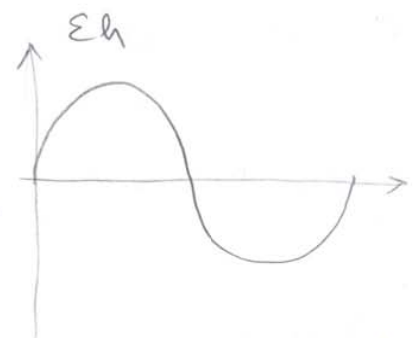
Nei punti lontani, l'entità delle tensioni variano ma  
di segno che in valore assoluto; le fibre che inizialmente  
erano tese, diventano compresse e viceversa.

1.3. a distanza  $d$  dal centro ho l'inversione del  
valore delle tensioni.

Cosa succede nel passaggio  $2 \rightarrow 3$ ?

Per il generico punto in profondità  
avviene l'alternanza delle tensioni T/C.

$\epsilon_h$  = deformazione verticale



Quando il materiale è soggetto a sollecitazioni cicliche,  
raggiunge la condizione di rottura non perché ha  
superato la RESISTENZA A TRAZIONE ma in ROTTURE PER FATICA

$$\sigma_h \leq \sigma_{h, rottura}$$

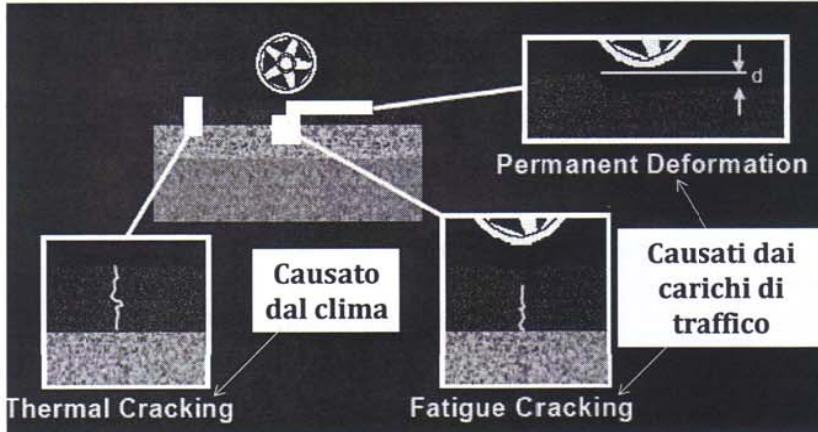


DEGRADO STRUTTURALE = DEGRADO STRUTTURALE

## DEGRADO STRUTTURALE - Pavimentazioni flessibili

PRINCIPALI FENOMENI DI DEGRADO

- Rottura per fatica generata da TRAFFICO + AMBIENTE
- Accumulo di deformazioni permanenti (ormaiamento) TRAFFICO + AMBIENTE
- Fessurazione di origine termica SOLO AMBIENTE

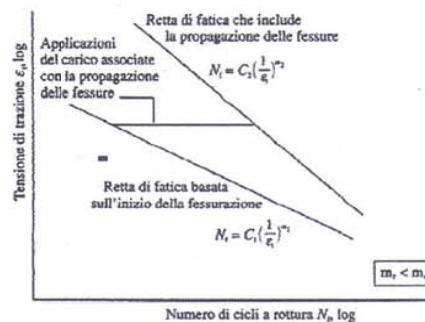
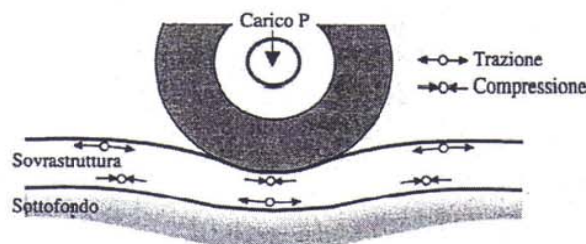


## DEGRADO STRUTTURALE - Pavimentazioni flessibili

### Rottura per fatica



- Fessurazione diffusa sulla superficie della pavimentazione (a "ragnatela" o "pelle di cocodrillo")
- Riguarda gli strati legati
- Causata dalle sollecitazioni ripetute prodotte dal traffico



## ORZAMENTO

Deformazione che coincide con le forze esercitate dai veicoli, solchi prodotti dal passaggio dei veicoli (TRAFFICO).

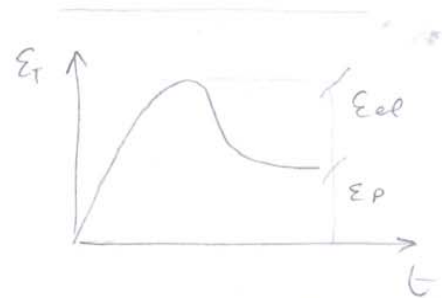
$\epsilon_T$  = DEFORMAZIONE TOTALE

$$\epsilon_T = \epsilon_{el} + \epsilon_p$$

$\epsilon_p$  = DEFORMAZIONE PERMANENTE, conseguenza della natura VISCO-ELASTICA del conglomerato bituminoso.



$\epsilon_T$



## CONGREGATO BITUMINOSO

MATERIALE VISCO -  $\epsilon = \epsilon(t)$

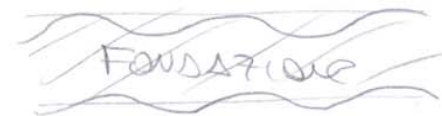
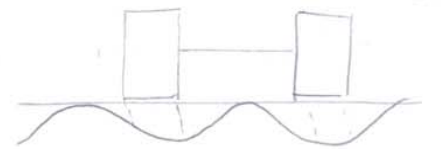
ELASTO -  $\epsilon$  RESTITUITA

PLASTICO -  $\epsilon$  NON RESTITUITA

Ad ogni passaggio della ruota abbiamo queste 3 deformazioni:

le  $\epsilon_p$  si sommano ed accumulano

le ormeie interronno anche gli strati più profondi: Fondazioni e sottofondo non fatti con materiali non legati con natura ELASTO-PLASTICA.



SOTTOFONDO

Pero volentieri quale strato contribuisce di più alla formazione dell'ormeia.

FIGURA A: Ormeie con larghezza piccola nulla alla larghezza dello pneumatico  
E' lo strato BITUMINOSO che contribuisce

FIGURA B: Entrambe ormeie molto più elevate (Bacino intero), e' lo strato di FONDAZIONE o SOTTOFONDO che contribuiscono.

In generale tutti gli strati contribuiscono.

L'ORZAMENTO E' un fenomeno critico alle ruote.



## DEGRADO STRUTTURALE - Pavimentazioni rigide

Fessurazione

Pumping e rottura del giunto

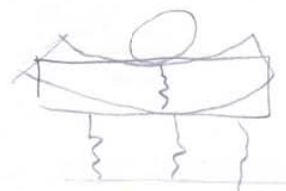
Calcolo no delle fessure in superficie: lo carico in campo per:

Δ - LASTRA DI SUOLO ALLA WINKLER

$\sigma_c$  = TENSIONE DI COAZIONE PER GRADIENTI TERMICI

$\sigma_T$  = TENSIONE PER IL CARICO

$\sigma_c + \sigma_T > \sigma_{\text{RESISTENZA MATTONE CLS}}$  (il CLS permette poco a T.)



## DEGRADO STRUTTURALE - Pavimentazioni rigide

### Fessurazione

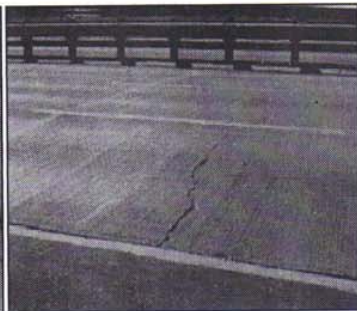
A • Superamento della resistenza a trazione per flessione del cls

B • Fatica, stesso discorso dei conglomerati bituminosi

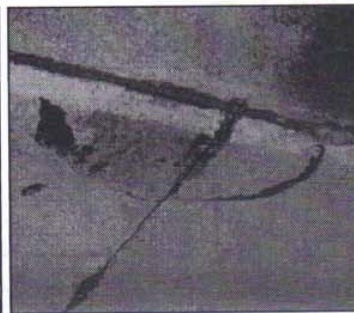
Causata dall'azione combinata dei carichi di traffico e coazioni termiche



FESSURAZIONE  
LONGITUDINALE



FESSURAZIONE  
TRASVERSALE



FESSURAZIONE  
D'ANGOLO

## 21 DISTORSIONI SUPERFICIALI

la superficie ideale non è un PIANO TEORICO  
ORIZZONTALE LISCIO; inoltre la perfezione  
perfettamente liscia non avrebbe bene per un  
carattere funzionale.

Nella realtà la superficie presenta delle IRREGOLARITÀ  
e non c'è la perfetta planarità.

Descrivo le distorsioni tramite le ONDE.

$\lambda$  = DISTANZA TRA 2 PICCHI SUCCESSIVI

Esistono diverse scale di distorsione, con diverse dimensioni.  
L'insieme delle distorsioni forma la TESSITURA SUPERFICIALE.

la superficie ideale è caratterizzata da determinate  
tessiture della superficie.

MICROTESSITURA = MICROUGOSITÀ

Riguarda la SCABREZZA SUPERFICIALE dei SUGOLI AGGREGATI  
che compongono la superficie ideale.

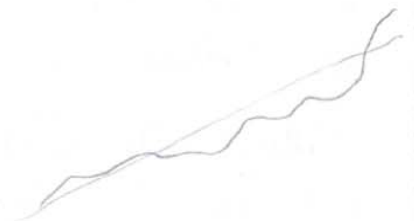
MACROTESSITURA = MACROUGOSITÀ

Risultata dovuta all'AUTOMANTA VOTI - PIENI nelle 'gli'  
aggregati lapidei non sono distribuiti uniformemente  
nella matrice di fondazione.

la macrotegmenta dipende dalle CARATTERISTICHE GRANULOMETRICHE  
degli aggregati che compongono la miscela.

REGISTESSITURA - REGARUGOSITÀ

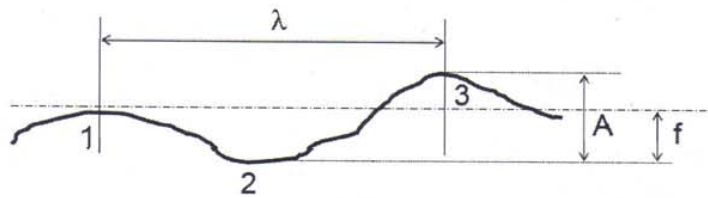
IRREGOLARITÀ e DISTORSIONI VISIBILI  
distorsioni della superficie ideale  
rispetto allo LIVELLO DI PROGETTO





## 21 CARATTERISTICHE SUPERFICIALI

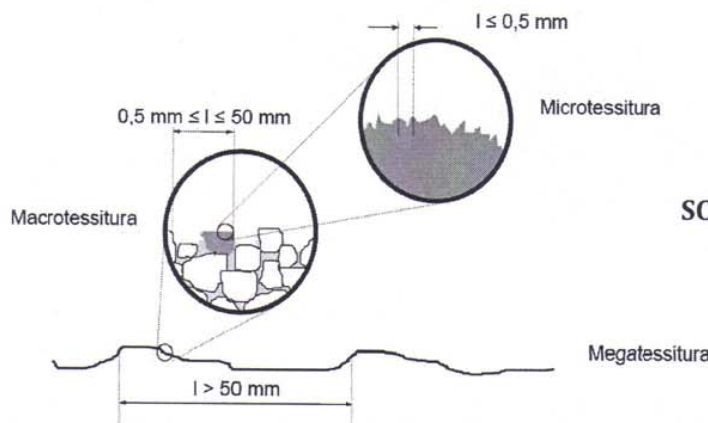
### Distorsioni superficiali



Lunghezza d'onda  $\lambda$

Ampiezza A

Freccia f



### SCALE DI TESSITURA

## 22 CARATTERISTICHE SUPERFICIALI

### MICROTESSITURA

- Distorsioni di lunghezza d'onda caratteristica < 0,5 mm
- Riguarda la scabrezza degli aggregati lapidei
- Influenza l'aderenza in condizioni bagnate (basse velocità)

### MACROTESSITURA

- Distorsioni di lunghezza d'onda caratteristica compresa tra 0,5 mm e 50 mm
- Distribuzione granulometrica degli aggregati posti in superficie
- Influenza l'aderenza in condizioni bagnate (alte velocità)

le **IRREGOLARITÀ** incidono negativamente sul confort e sulla sicurezza (aderenza)

## DEGRADO FUNZIONALE

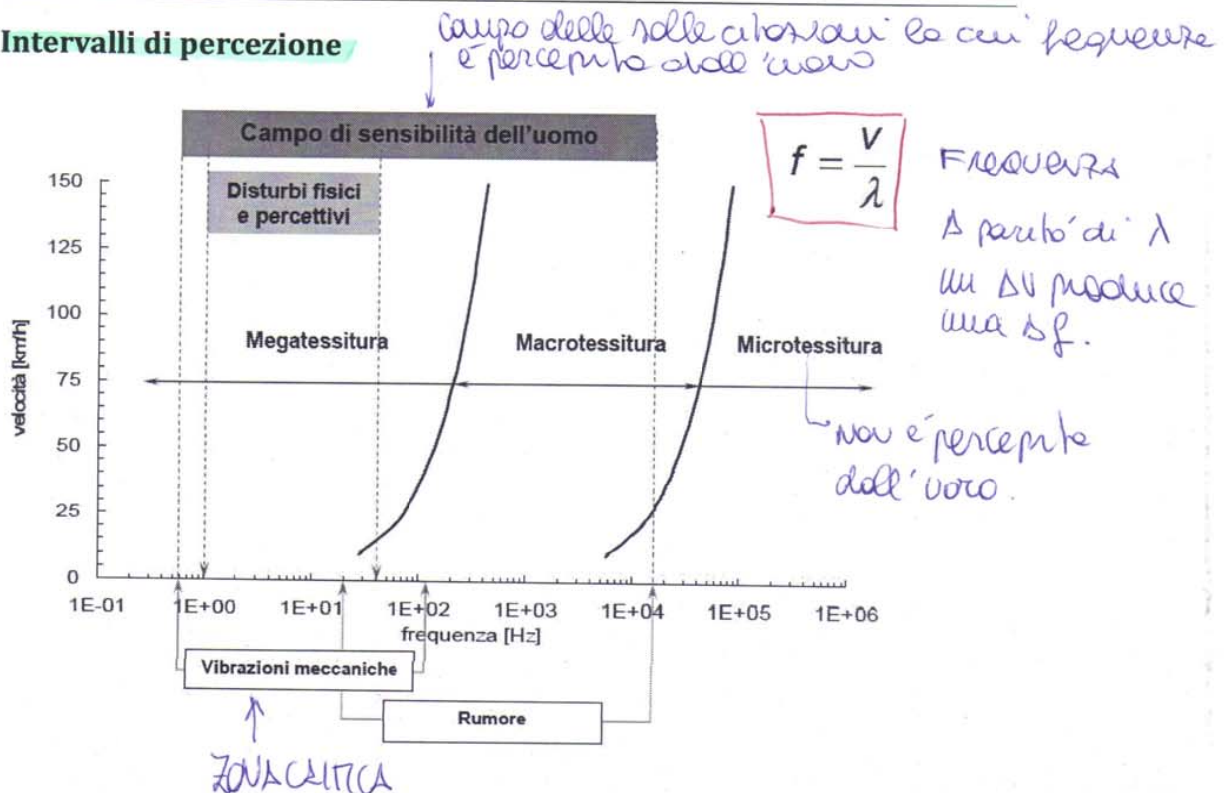
### MEGATESSITURA - IRREGOLARITÀ

- Megatessitura →  $50 \text{ mm} < \lambda < 50 \text{ cm}$
- Irregolarità →  $\lambda > 50 \text{ cm}$

- Prodotta da: traffico, materiali non adeguati, difetti costruttivi *non adeguato senso in opera, difetti dall'origine per errori in fase di costruzione*
- Influenza: aderenza (perdita di contatto), ristagni d'acqua (acquaplaning), controllo del veicolo, comfort di guida, danneggiamento veicolo, rumore

## CARATTERISTICHE SUPERFICIALI

### Intervalli di percezione







**POLITECNICO DI TORINO**  
**Corso di Laurea Magistrale**  
**in Ingegneria Civile**  
a.a. 2013-14



**Costruzione di Strade, Ferrovie ed Aeroporti (03ALVMX)**



**SOVRASTRUTTURE  
STRADALI E AEROPORTUALI**

10 **Aggregati lapidei**

ASPETTI DA AFFRONTARE PER LA COSTRUZIONE SOVRASTRUTTURALE:

- MATERIALE
- FLESSIBILITÀ
- CONTROLLI (ma in fase di meno in opera che ad opera finito).

**GENERALITA'**

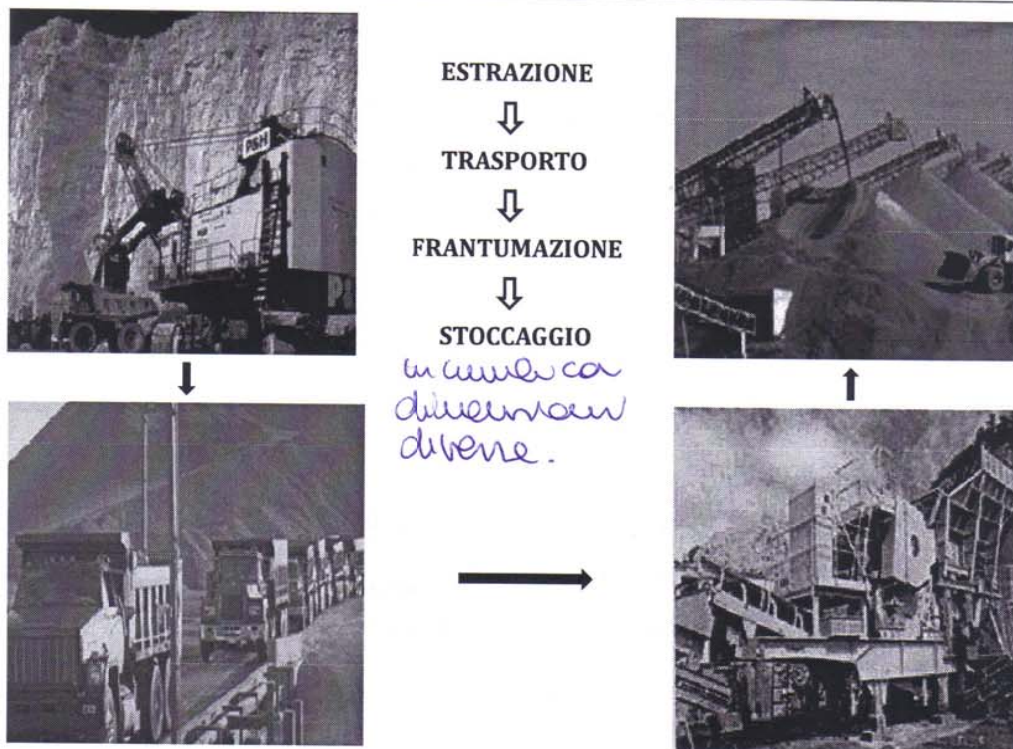
Gli aggregati lapidei sono particelle granulari di origine minerale che trovano largo impiego nelle pavimentazioni stradali, sia in forma sciolta che in combinazione con leganti di varia natura e tipologia. *le AEROPORTUALI*

Alcuni esempi tipici di utilizzo riguardano:

- misti granulari
- misti cementati
- conglomerati cementizi
- conglomerati bituminosi
- trattamenti superficiali

*Minerale sciolto o legato (con cemento o bitume)*

## CICLO DI PRODUZIONE DEGLI AGGREGATI



## QUALIFICAZIONE dell'aggregato *destando determinate caratteristiche*

Il processo di caratterizzazione e selezione degli aggregati richiede la valutazione delle proprietà

*e volendo l'idoneità d'impiego dell'aggregato.*

### □ GEOMETRICHE

- Dimensioni e granulometria
- Forma, *molto importante*

### □ FISICO-MECCANICHE

- Massa volumica e assorbimento
- Resistenza alla frammentazione
- Resistenza all'usura
- Resistenza alla levigazione
- Sensibilità al gelo

*grandezza di quarzo e il materiale sotto il mulo tecnico meccanico.*

### □ QUALITA' DEL FINO

- Equivalente in sabbia



## CASSE DIMENSIONALI

L'aggregato è definito in base a 2 dimensioni:

D = DIMENSIONE VAGLIO SUPERIORE

d = DIMENSIONE VAGLIO INFERIORE, dimensione minima al di sotto della quale non abbiano elementi che costituiscono quella classe.

d/D in teoria è un aggregato con particelle TOTALMENTE trattenute da d e TOTALMENTE passanti per D.

Nella realtà è impossibile fare questa distinzione (§)

Accounto ai valori MIN/MAX, la Norma attribuisce una categoria, corrispondente alla classe d/D; bisogna però SODDISFARE TUTTI I REQUISITI CONTENUTI NELLE TABELLE.

- le categorie più elevate hanno % di elementi contenuti nella classe più elevata = TOLLERANZE MINORI
- le categorie più piccole = TOLLERANZE MAGGIORI

G<sub>c</sub> 90/10 non più del 10% trattenuto a D e non più del 10% passante al d.

AGGREGATO 3/8 < G<sub>c</sub> 90/10 < G<sub>c</sub> 85/20 stesso classe dimensionale MA cambia il livello di qualità.

G<sub>c</sub> 90/10 10% elementi > 8 e < 3 → classe più pura  
 G<sub>c</sub> 85/20 20% elementi > 8 e < 3

IL VALORE REALE MASSIMO è G<sub>c</sub> 100/0 de §.

Es. G<sub>c</sub> 5/25 AGGREGATO NON UNIFORME  
 G<sub>c</sub> 5/10 AGGREGATO NON UNIFORME (2 VAGGI CONSECUTIVI)

L'ampiezza o seno della classe dimensionale (D-d) è diretta della categoria, che esprime il livello di tolleranza sul limite.

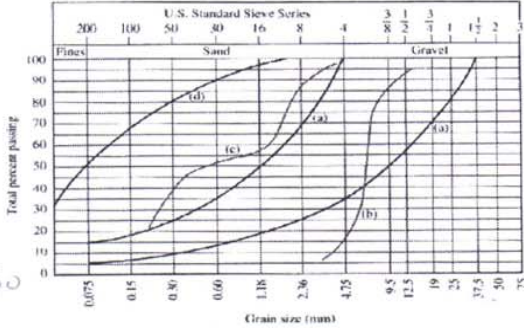
Per appoggi specifici la granulometria può essere definita non per ottenere il massimo addensamento ma per altre finalità.

d-CURVA APERTA = CONGLOMERATI STENANTI, non vogliono il massimo addensamento.

**PROPRIETA' GEOMETRICHE - Granulometria**

**Rappresentazione grafica delle diverse curve GRANULOMETRICHE**

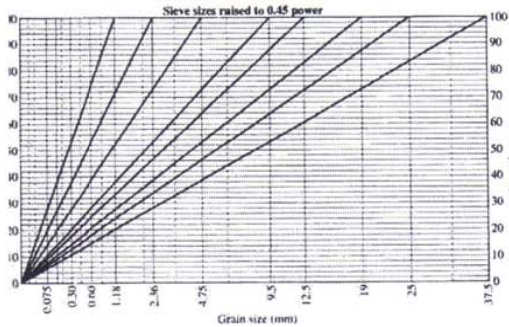
il PASSANTE  
 D<sub>0.45</sub>  
 SE SOTTO  
 D<sub>0.45</sub>, OTTEGO  
 UNA RETTA



- a: curva di massima densità;
- b: distribuzione monogranulare;
- c: distribuzione gap-graded; curva a cui manca una porzione granulometrica
- d: curva aperta

FATTORE DI FORMA DELLA CURVA

$$F = \frac{D_{p1}}{D_{p2}} \left( \text{es. } \frac{D_{70}}{D_{30}} \right)$$



**Rappresentazione FHWA**

esempio: conglomerati bituminosi PASTIFICATI con polvere di gomma (pneumatici), molto usati.

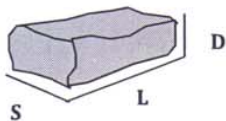
la forma caratterizza le caratteristiche finali della miscela: due curve AGGREGATI POLIEDRICI O CUBICI dove le 3 dimensioni sono molto simili tra di loro.

**PROPRIETA' GEOMETRICHE - Forma**

La forma interessa essenzialmente gli **aggregati grossi** e influenza in maniera determinante la struttura litica della miscela finale. In linea generale si richiede che i granuli abbiano una forma cubica o sferoidale evitando invece la presenza di elementi piatti e/o allungati.



L = LUNGHEZZA MAGGIORE



L'elemento è detto non cubico quando  $\frac{L}{\min(S,D)} > 3$

Se 1 o 2 dimensioni prevalgono sulle altre ho AGGREGATI PIATTI O ALLUNGATI, SCHELETRO LITICO DEBOLE perché la struttura dipenderebbe dall'orientamento degli aggregati.

L'aggregato è non cubico quando per le 3 dimensioni il cui rapporto è > 3.



l'aggregato ha una superficie irregolare perché sono presenti delle cavità ricoperte d'acqua.

$M_{SSD}$ : la superficie dei pori è asciutta ma c'è acqua contenuta nella porosità.

**PROPRIETA' FISICO-MECCANICHE - Massa volumica**



Aggregato asciutto -  $M_s$  = massa secca;  $V_N$  = Volume netto, al netto della porosità superficiale.



Aggregato saturo a superficie secca -  $M_{SSD}$  = massa saturo a superficie secca (comprende la massa secca più l'acqua di assorbimento);  $V_B$  = Volume effettivo (comprende il volume netto e la porosità superficiale permeabile all'acqua). *Nota del campione saturo, escludendo l'acqua pellicolare che avvolge il campione.*

VOLUME EFFETTIVO: BULK VOLUME  
 $V_B = V_N + V_p$

$MV_A = \frac{M_s}{V_N}$  Massa volumica apparente

$MV_B = \frac{M_s}{V_B}$  Massa volumica effettiva

$MV_{SSD} = \frac{M_{SSD}}{V_B}$  Massa volumica saturo a superficie secca

$A[\%] = 100 \cdot \frac{M_{SSD} - M_s}{M_s}$  Percentuale d'assorbimento

$A$  = percentuale di acqua che è assorbita dall'aggregato. È importante perché da una misura del livello di porosità superficiale.

Le legante bituminose o la malta cementizia penetrano dentro le cavità (bitume assorbito) ed è una quantità persa perché la quantità dentro ai pori non lavora.

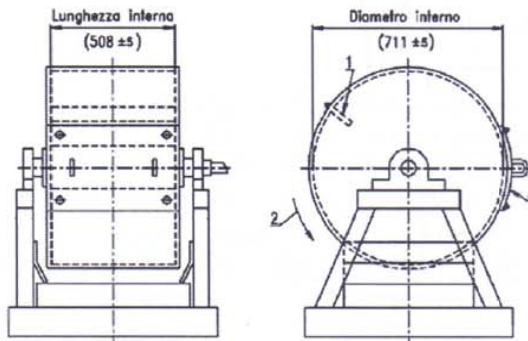
Se gli aggregati sono molto porosi, spreco molto materiale (aumentano i costi) ed ho caratteristiche meccaniche inferiori.

**PROPRIETA' FISICO-MECCANICHE - Res. alla frammentazione**

**Prova Los Angeles (UNI EN 1097-2:1999)**

**APPARECCHIO LOS ANGELES**

Il campione di aggregati viene inserito nel tamburo insieme ad un numero predefinito di sfere metalliche (carica abrasiva) di note caratteristiche e posto in rotazione per un predefinito numero di ripetizioni



$LA = 100 \cdot \frac{M_0 - M_{1,60}}{M_0}$

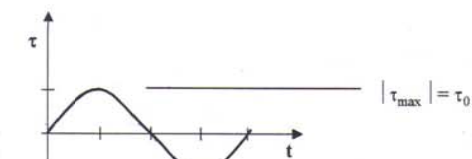
$M_0$  = massa iniziale del campione (5 kg)  
 $M_{1,60}$  = massa di materiale trattenuto al setaccio 1,60 mm dopo la prova

Il coefficiente LA misura la perdita in peso dovuta all'abrasione e agli urti subiti durante la prova

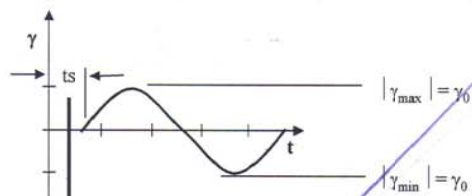
- Carica abrasiva: 11 sfere di acciaio di diametro 45-49 mm e massa 400-445 g
- Velocità di rotazione tamburo: 33 giri/min
- Peso del campione = 5000 g
- Numero rotazioni: 5000

## REOLOGIA E REOMETRIA DEI BITUMI

### Prove in regime oscillatorio



$$\tau(t) = \tau_0 \cdot \text{sen}(\omega t)$$

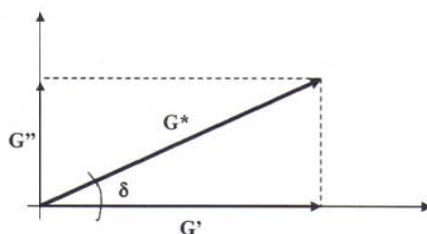


$$\gamma(t) = \gamma_0 \cdot \text{sen}(\omega t - \delta)$$

Sfasamento

### Modulo complesso

$$G^* = \frac{\tau_0}{\gamma_0}$$



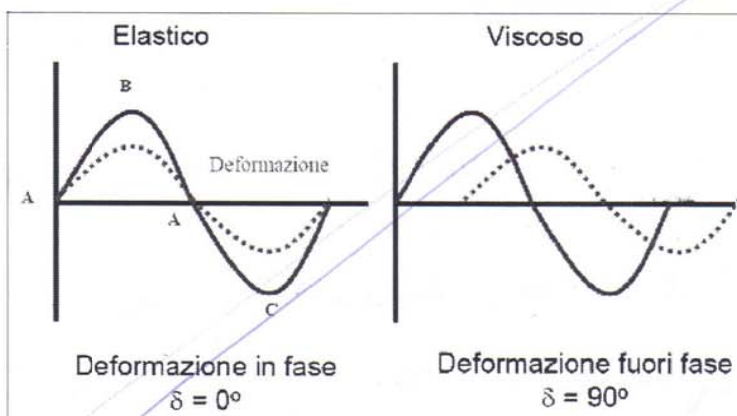
$$G' = G^* \cdot \cos \delta$$

$$G'' = G^* \cdot \sin \delta$$

$$G^* = \sqrt{G'^2 + G''^2}$$

## REOLOGIA E REOMETRIA DEI BITUMI

### Prove in regime oscillatorio



Il "tipo" di risposta varia al variare della temperatura e della frequenza di oscillazione



## RESISTENZA ALLA LIGATURA (ACCELERATA)

Degrado luminoso prodotto dal traffico con le perdite di micro e macro tenitura; perdita della rugosità sulle ruote muoviamo un'azione abrasiva.

PROVA SIGNIFICATIVA negli 'aggregati degli' STRATI DI USURA.

### FASE SITUATIVA (NON MISURO ANCORA NULLA)

Simulo l'azione liganante prodotta dal traffico.

LA RUOTA PORTA CAMPIONI e' messa in rotazione e su di' essa c'è un RUOTINO DI BORSA DE' STRUCA e' azione delle ruote  
↳ RUOTE CON ROTAZIONI OPPOSITE.

L'azione liganante prodotta dal traffico si ESPRIME in anni.  
MA NOI ACCELERIAMO il fenomeno attraverso una CARICA ABRASIVA (Sabbia mista ad acqua).

3 ORE ABRASIVO GRANA GROSSA e 3 ORE A. GRANA FINE.

Simulo l'azione del traffico prodotta in condizioni 'STANDARD', grandezza di VALIDITA' RELATIVA.

- I campioni hanno la FORMA RICURVA.
  - Gli 'aggregati' vengono incollati.
  - La ruota può portare massimo 14 campioni:
    - 12 campioni per gli 'aggregati' da testare (3 aggregati differenti e 4 campioni per ogni aggregato, numero minimo per fare la media)
    - 2 campioni per l'aggregato standard di riferimento (sono coperti) e servono per valutare le S.C.
- Uso degli 'aggregati' di riferimento.

In base alle liganature dei 2 campioni, voluto la liganature degli altri 12.

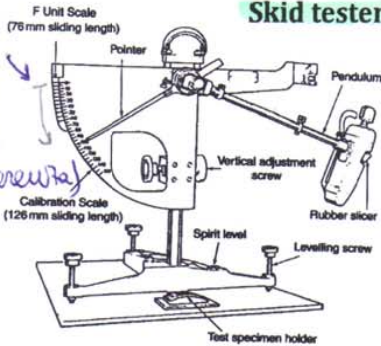
Però qui prova metterò 3 aggregati differenti.

Prova di coesione di determinazione e coefficiente di attrito del manto aggregato.  
 Mettiamo il campione che ha già subito e azione levigata.  
 Il pattino striscia nella superficie del campione e perde energia in funzione della resistenza allo strisciamento del campione.

**PROPRIETA' FISICO-MECCANICHE - Res. alla levigazione**

Su una scala graduata dopo il BPN, INDICE CONVENZIONALE  $\approx$  coefficiente di attrito/aderenza

**Prova di levigazione (UNI EN 1097-8:1999)**



**Skid tester** (BRITISH PENDULUM TESTER) PARAMETRO ATRITIVO

**Valore di levigabilità**

$$VL = S + (52,5) - C$$

S = media dei valori ottenuti al pendolo sui campioni del materiale da caratterizzare

C = media dei valori ottenuti sui campioni del materiale di riferimento

La prova restituisce un parametro (BPN) indicativo dell'energia dissipata quando un pattino, dotato di uno slider in gomma, viene fatto strisciare su una superficie.

**CONDIZIONI DI PROVA**

- superficie di prova bagnata in modo sufficiente da essere ricoperta d'acqua;
- si esegue una oscillazione di assestamento senza registrare il valore BPN;
- si ripetono 5 oscillazioni registrando i valori di BPN e avendo cura ogni volta di bagnare la superficie in esame IL VALORE MISURATO È DATO DALLA MEDIA ARITMETRICA DELLE ULTIME 3 LETTURE
- La temperatura di prova della superficie di 16.5 °C;

**PROPRIETA' FISICO-MECCANICHE - Sensibilità al gelo**

Agli aggregati è richiesta la capacità di resistere alle azioni di natura termica ed in particolare agli effetti combinati della temperatura e della presenza dell'acqua. Un metodo diretto per valutare il comportamento dell'aggregato nei riguardi di tali azioni consiste nel sottoporre un campione (8-16 mm) rappresentativo dello stesso a **cicli di gelo e disgelo**

**UNI EN 1367-1**

- Temperatura ciclo compresa fra - 17,5 a + 20°C
- 10 cicli di gelo e disgelo, facendo variare la temperatura.

$$\Delta_{LA} = 100 \cdot \frac{LA_2 - LA_1}{LA_1}$$

- LA<sub>2</sub> - materiale post cicli gelo-disgelo
- LA<sub>1</sub> - materiale originale





## GRADO DI PULIZIA

La frazione fine non deve contenere materiale organico.

Prendendo una sabbia e lo metto in un contenitore con una SOLUZIONE FLOCCULANTE, che ha la capacità di reagire con la FRAZIONE ARGILLOSA, facendola coagulare.

Rimarrà una parte di soluzione flocculante che non reagisce.

- Sabbia di buona qualità  
ES ↑ ~ 100%       $h_1 = h_2$  Sabbia purissima
- Sabbie sporche se ES ↓

## NOTE APPROVATE EUROPEE NAE

Le norme servono a QUALIFICARE l'aggregato, attribuendogli un MARCHIO che ne regola le caratteristiche.

Ogni aggregato, per essere commercializzato, deve avere una MARCA CE:

- deve superare le verifiche previste dalla UE e presentare determinate caratteristiche, DICHIARATE DAL FORNITORE.

3 NOTE in base alla destinazione dell'aggregato

Ogni norma ha delle grandezze specifiche (es la reattività degli aggregati e per il CIS e non per il conglomerato bituminoso).

La NAE contiene tutte le verifiche che l'aggregato deve superare per le varie applicazioni (per ogni caratteristica avrà un range... a cui corrisponde una categoria).

LA<sub>20</sub>, FI<sub>15</sub>, G<sub>85/15</sub>...

Tutte le caratteristiche vanno segnate nell'ETICHETTA.

Se adottato la NAE, il soddisfacimento di quelle caratteristiche in funzione e idoneità dell'aggregato per il suo utilizzo.

### MARCATURA CE

- Per "Norme armonizzate" s'intendono le specifiche tecniche predisposte dal CEN su Mandato della Commissione conformemente alla direttiva 83/189/CEE a seguito di un parere favorevole formulato dal comitato tecnico permanente delle costruzioni.
- Gli Stati Membri presumono idonei al loro impiego i prodotti che consentono alle opere in cui sono utilizzati di soddisfare i requisiti essenziali e che recano il marchio CE.
- Il Marchio CE attesta che un prodotto è conforme alle relative norme nazionali in cui sono state trasposte le norme armonizzate.
- È compito del fabbricante o al suo mandatario assumere le responsabilità di apporre il marchio CE sul prodotto, su un'etichetta apposta sul prodotto, sull'imballaggio o sui documenti commerciali di accompagnamento

UNI EN, norme recepite in Italia



Il marchio CE garantisce che i prodotti da costruzione marcati:

- soddisfano i requisiti in tema di salute e sicurezza ed i requisiti essenziali delle direttive di prodotto
- sono stati sottoposti alle prove ed alle verifiche previste dalle specifiche tecniche.

Abilita all'immissione sul mercato



### DICHIARAZIONE DI CONFORMITÀ

La dichiarazione deve contenere almeno:

- a) Il nome o l'indirizzo del produttore che l'ha redatta;
- b) La descrizione del prodotto (Tipo, identificazione, uso, denominazione)
- c) Copia delle informazioni che accompagnano la marcatura CE
- d) La dichiarazione di conformità alle norme tecniche;
- e) Le condizioni particolari di utilizzo del prodotto
- f) La firma, il nome e la funzione della persona autorizzata a firmare a nome del fornitore.

I prodotti devono essere accompagnati dalla Marcatura CE, vale per i materiali da costruzione.

### MARCATURA CE

<b>CE</b>		
Any Co Ltd, PO Box 21, B-1050		
EN 13043		
Aggregati per miscele bituminose		
Forma delle particelle	Categoria	(per esempio F <sub>10</sub> )
Dimensione delle particelle	Designazione	(d/D) & (per esempio G <sub>0,85</sub> '15)
	Categoria di tolleranza	G <sub>20/15</sub>
Massa volumica	Valore dichiarato	(Mg/m <sup>3</sup> )
Pulizia	Categoria	(per esempio MB <sub>F10</sub> )
Affinità ai leganti bituminosi	Valore dichiarato	% grado di copertura di bitume
Percentuale di particelle schiacciate/superfici frantumate	Categoria	(per esempio C <sub>90/1</sub> )
Resistenza alla frammentazione/frantumazione	Categoria	(per esempio LA <sub>30</sub> )
Resistenza alla levigazione/abrasione/usura	Valore di levigabilità	(per esempio PSV <sub>50</sub> )
	Valore di abrasione	(per esempio AA <sub>V20</sub> )
Resistenza all'usura dell'aggregato	Categoria	(per esempio M <sub>DE35</sub> )
Resistenza all'usura dell'aggregato grosso	Valore di abrasione	(per esempio AA <sub>V20</sub> )
Abrasione da pneumatici scolpiti	Categoria	(per esempio AN <sub>19</sub> )

EN 13043		
Aggregati per miscele bituminose		
Forma delle particelle	Categoria	(per esempio F <sub>10</sub> )
Dimensione delle particelle	Designazione	(d/D) & (per esempio G <sub>0,85</sub> '15)
	Categoria di tolleranza	G <sub>20/15</sub>
Massa volumica	Valore dichiarato	(Mg/m <sup>3</sup> )
Pulizia	Categoria	(per esempio MB <sub>F10</sub> )
Affinità ai leganti bituminosi	Valore dichiarato	% grado di copertura di bitume
Percentuale di particelle schiacciate/superfici frantumate	Categoria	(per esempio C <sub>90/1</sub> )
Resistenza alla frammentazione/frantumazione	Categoria	(per esempio LA <sub>30</sub> )
Resistenza alla levigazione/abrasione/usura	Valore di levigabilità	(per esempio PSV <sub>50</sub> )
	Valore di abrasione	(per esempio AA <sub>V20</sub> )
Resistenza all'usura dell'aggregato	Categoria	(per esempio M <sub>DE35</sub> )
Resistenza all'usura dell'aggregato grosso	Valore di abrasione	(per esempio AA <sub>V20</sub> )
Abrasione da pneumatici scolpiti	Categoria	(per esempio AN <sub>19</sub> )

### Esempio di marcatura CE



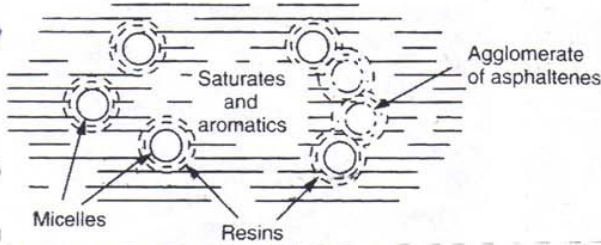
BITUME: SISTEMA COLLOIDALE, dispersione di PARTICELLE SOLIDE (ASFALTENI) nella FASE OLEOSA (FASE RESINICA)

la fase oleosa è composta da oli SATURI ED AROMATICI

**GENERALITA'**

**BITUME - Proprietà fisico-chimiche**

**Il modello colloidale di Nellensteyn (1924)**



LE RESINE POSSONO, prodotti dagli idrocarburi, avvolgono le particelle solide FERTILIZZANDO, conferiscono una carica elettrostatica alle particelle, che in dispersione e evitano l'agglomerazione delle particelle

**Indice di instabilità colloidale (Gaestel)**

$$I_c = \frac{A_s + S}{R + A_r}$$

REPERE I VALORI IN %

IC alti → gel (resine ↓)

IC bassi → sol (resine ↑)

**Sistema "sol"** - le resine sono presenti in quantità tali da mantenere gli asfaltene in uno stato altamente disperso nella fase oleosa cosicché il materiale può considerarsi, schematicamente, come una dispersione di sfere indeformabili in un liquido perfettamente viscoso → comportamento Newtoniano

**Sistema "gel"** - le resine non sono molto efficaci nella peptizzazione degli asfaltene, ragion per cui questi ultimi tendono a reticolare fra loro con conseguente separazione delle fasi (disperdente e dispersa) → comportamento non Newtoniano

SENZA LE RESINE, SI HA LA COAGULAZIONE degli aggregati.

COMPONENTI BITUME

- SATURI
- AROMATICI
- RESINE
- ASFALTEICI

↳ SARA ANALYSIS

Evitano delle tecniche di proporzionamento da permettere di separarli.

**GENERALITA'**

**BITUME - Proprietà fisico-chimiche**

Analisi elementare di alcuni bitumi stradali (J.C. Petersen, 1984).

Elementi	B-2959 Messico	B-3036 Ark-Lou	B-3051 Boscan	B3602 California
Carbonio (%)	83,77	85,78	82,90	86,77
Idrogeno (%)	9,91	10,19	10,45	10,93
Azoto (%)	0,28	0,26	0,78	1,10
Zolfo (%)	5,25	3,41	5,43	0,99
Ossigeno (%)	0,77	0,36	0,29	0,20
Vanadio (ppm)	180	7	1380	4
Nichel (ppm)	22	0,4	109	6

Il bitume contiene C, H, e un idrocarburo, ma abbiamo anche altri componenti non misurabili.

cerchiamo di avere una quantità indicata di reticoli pesanti (Nichel...)

A seconda della presenza di 1 dei 4 componenti (SARA), posso avere delle situazioni di vere:

- sistema sol: asfaltene molto disperso nella fase oleosa
- sistema gel: agglomerazione delle particelle perché c'è una piccola percentuale di resine.

NON TUTTI I BITUMI SI ADATTANO A TUTTI I POLIMERI E VICEVERSA.

Sotto il profilo termodinamico B e P non sono compatibili ma, mediante un'azione esterna, li rendiamo AMALGAMATI:

**GENERALITA'**

- Stoccare le Bit. alle alte T in grandi silos

**BITUMI MODIFICATI**

- Mantenere le Bit in movimento

↳ GROSSO DISPENDIO ENERGETICO

Compatibilità bitume-polimero



Stabilità del bitume modificato

**Compatibilità termodinamica** = capacità di formare una soluzione stabile

→ bitume e polimero termodinamicamente incompatibili

**Compatibilità "pratica"** = dispendio energetico (e. termica, e. meccanica di agitazione) per garantire un sufficiente livello di stabilità

con pezzi ragionevoli cercando avere un dispendio energetico basso.

**Stabilità allo stoccaggio (TUBE Test - EN 13399)**

Temperatura = 180°C

Tempo di maturazione = 3 gg



TUBE TEST: prendo un campione di BIT. MOD. e lo inserisco in un tubo di piombo di dimensioni... viene riscaldato e fatto maturare in forno a 180° per 3 giorni.

$\Delta < \Delta_{lim}$

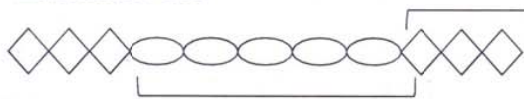
Taglio testa e coda del tubo e in questi campioni faccio delle prove: PROVA PUNTA E SUECO, poi confronto i risultati:

**GENERALITA'**

**BITUMI MODIFICATI CON SBS**

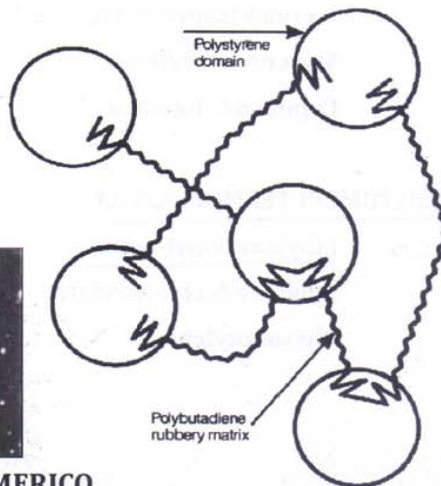
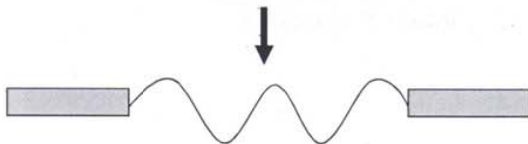
- STABILITÀ MASSIMA, il materiale è omogeneo ed ottengo dei valori compatibili;
  - STABILITÀ PICCOLA, il materiale è eterogeneo e ho dei valori molto diversi perché ho avuto una separazione delle fasi.
- $\Delta T_{PEA} < 5^\circ C$ .

Elastomero SBS



Gruppo stirenico = componente rigida

Gruppo butadienico = componente elastica



RETICOLO ELASTOMERICO



## 1) REAZIONE DI MODIFICA

Mettere il polimero nel bitume n' ha una variazione chimica e delle proprietà meccaniche

Popo (e Pow 1) e 2) ha il RETICOLO ELASTOMERICO sovrapposto alla matrice bituminosa residua -

Prodotto finale: struttura gonfia con elevate caratteristiche elastiche.

Quanto polimero metter?

Il polimero assorbe molta polvere mineralica (1-3,6%)

- 2-3% MODIFICA SOFT
- 6-6,5% MODIFICA RESISTE (Hard)

Il costo del Bitume modificato è ~ 50% in più del Bitume Base e, per ridurre i costi, non metter + del 6% di polimero.

Se lo % > 6% ho problemi di lavorabilità.

## 1b) VANTAGGI

1) I bitumi normali, alle alte temperature, hanno le problematiche dell'ORZAIAMENTO; il bit. modificato presenta una rigidità maggiore del bit. normale ed è più resistente all'ormaiamento.

2) Alle basse temperature, il B.M. diminuisce la sua rigidità ed è meno sensibile allo rottura per  $\Delta T$

L'aggiunta del polimero produce un aumento delle CARATTERISTICHE TEC.

## Svantaggi

Il B. Modif. è PIÙ DIFFICILE DA LAVORARE.

La produzione del conglomerato bituminoso avviene alle alte T; per avere una perfetta miscelazione devo alzare la T (S. normale 160°, B. Mod. 180°, perché è più viscoso).

Con il B. Mod. ho che anche la COMPATIZIONE deve avvenire alle alte T:

- Difficoltà di controllo della T in cantiere;
- Maggiore dispendio energetico.

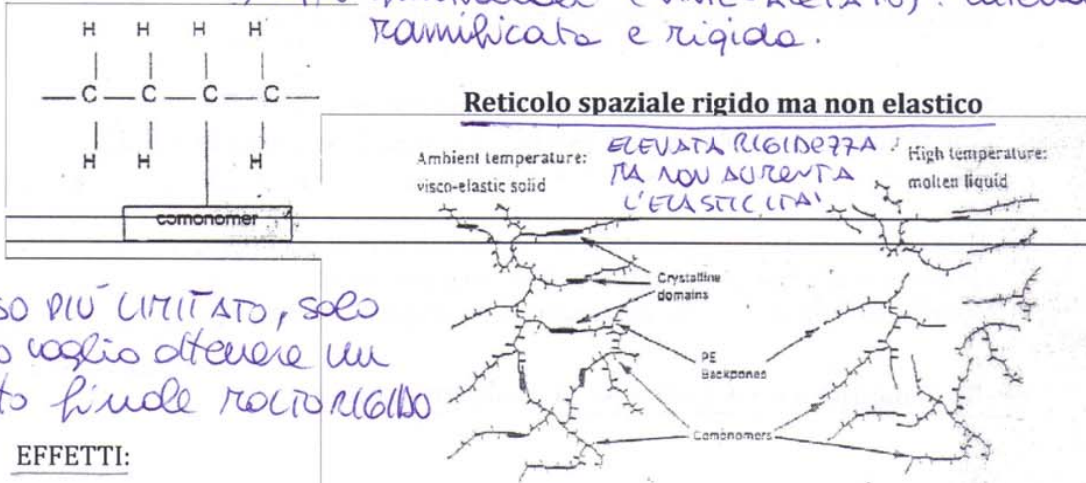
Ⓐ

- EVA
- A T ambiente, le macromolecole tendono ad UNIRSI: DOMINI CRISTALLINI, LIVELLO DI DEFORMABILITA' MOLTO BASSO,
  - Alle alte temperature le catene si separano.

**GENERALITA'** COMPRESSIVAMENTE: ha una struttura 3D molto RIGIDA con un livello di DEFORMABILITA' MOLTO BASSO.

**BITUMI MODIFICATI CON EVA**

Plastomero EVA catena idrocarburica in cui si inseriscono gruppi funzionali (VINIL-ACETATO): catena ramificata e rigida.



Ha un uso più limitato, solo quando voglio ottenere un prodotto finale molto rigido

EFFETTI:

- 1) Incremento della rigidezza
- 2) Non incremento del grado di elasticità

Valutare le proprietà materiali e i nuovi usi, sistemi { RAZIONALE / EMPIRICO  
 SISTEMA EMPIRICO sistema tradizionale, diffuso MA OSSOLETO.  
 Molti capitali come vedono: è un sistema con LIMITI FORTI.

**SISTEMA DI CLASSIFICAZIONE EMPIRICO**

Il sistema di classificazione tradizionale (ancora oggi utilizzato in Italia e Europa) è basato sulla determinazione di parametri empirici.



PROVE EMPIRICHE

- Prova di penetrazione
- Prova di rammollimento
- Prova Fraass
- Prova di duttilità

Determino delle grandezze convenzionali per i soli BITUMI e per degli SPECIFICI STANDARD DI PROVA.

la viscosità è una grandezza fondamentale per tutti i materiali.



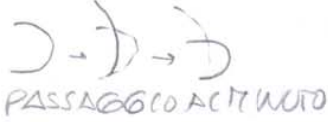
Prova più empirica, funzione della manualità dell'operatore.  
 Fila di bit. su una piastrina metallica per formare una pellicola.  
 la piastrina viene fatta inflettersi e le prove è tarato per fare un

IMPRESSIONE  
 COMPLETA

**SISTEMA DI CLASSIFICAZIONE EMPIRICO**

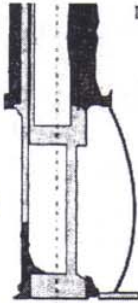
ALLA PIASTRINA

**PROVA FRAASS - EN 12593** definisce le caratteristiche del bitume alle BASSE TEMPERATURE.



PASSAGGIO A 1° MINUTO  
 Si parte da T = 10°C e  
 applico ΔT = 1°C / MINUTO

PER ↓ T<sub>PROVA</sub> ↑ T<sub>FRAASS</sub> ↑



Prova Fraass

in prova si forma  
 alla comparsa della  
 FRATTURA (CREPA)  
 nel bitume : la T  
 alla quale avviene la CREPA è la  
 T di FRAASS (in genere < 0°C).



Bitume  
 molle :  
 T<sub>FRAASS</sub> ↓

Temperatura di inizio prova : 10°C

Gradiente di temperatura : 1°C / 60s

Spessore del campione: 0,5 mm

Tempo di carico: sino alla formazione della fessura sulla superficie del campione

Risultato : temperatura di rottura Fraass [°C]

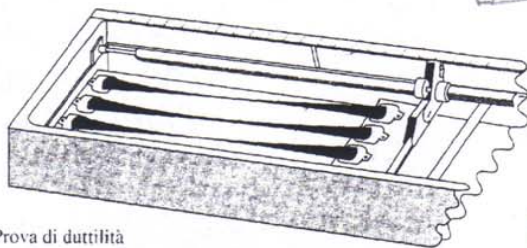
DUTTILITA' : applico una velocità di deformazione su 'campioni'  
 di forme di OSSO DI CANE, PROVA A TRAZIONE.

valuto la lunghezza del campione per formare UN FILO.  
 quando si rompe, valuto la distanza tra le 2 teste :

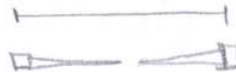
**SISTEMA DI CLASSIFICAZIONE EMPIRICO**

DUTTILITA'

**PROVA DI DUTTILITA'**



Prova di duttilità



Temperatura di prova : 25°C

Velocità di allungamento: 50 mm / 60s

Tempo di carico: sino alla rottura del campione

Risultato : duttilità (allungamento) in cm

## SISTEMA DI CLASSIFICAZIONE EMPIRICO

### SPECIFICHE C.E.N. (EN 12591:2009)

prospetto 1A Specifiche dei bitumi per applicazioni stradali con classe di penetrazione da 20 x 0,1 mm a 220 x 0,1 mm - Proprietà applicabili a tutti i bitumi per applicazioni stradali elencati nel presente prospetto

Proprietà	Test method	Unità	20/30	30/45	35/50	40/60	50/70	70/100	100/150	160/220
Penetrazione a 25 °C	EN 1426	0,1 mm	20 - 30	30 - 45	35 - 50	40 - 60	50 - 70	70 - 100	100 - 150	160 - 220
Punto di rammollimento	EN 1427	°C	55 - 63	52 - 60	50 - 58	48 - 56	46 - 54	43 - 51	39 - 47	35 - 43
Resistenza all'indurimento a 163 °C	EN 12607-1									
Penetrazione residua		%	≥ 55	≥ 53	≥ 53	≥ 50	≥ 50	≥ 46	≥ 43	≥ 37
Incremento del punto di rammollimento - Severità 1		°C	≤ 8	≤ 8	≤ 8	≤ 9	≤ 9	≤ 9	≤ 10	≤ 11
		°C	0	0	0	0	0	0	0	0
Incremento del punto di rammollimento - Severità 2 <sup>a)</sup>		°C	≤ 10	≤ 11	≤ 11	≤ 11	≤ 11	≤ 11	≤ 12	≤ 12
		°C	0	0	0	0	0	0	0	0
Variazione di massa <sup>b)</sup> (valore assoluto)		%	≤ 0,5	≤ 0,5	≤ 0,5	≤ 0,5	≤ 0,5	≤ 0,8	≤ 0,8	≤ 1,0
Punto di infiammabilità	EN ISO 2592	°C	≥ 240	≥ 240	≥ 240	≥ 230	≥ 230	≥ 230	≥ 230	≥ 220
Solubilità	EN 12592	%	≥ 99,0	≥ 99,0	≥ 99,0	≥ 99,0	≥ 99,0	≥ 99,0	≥ 99,0	≥ 99,0

a) Se si seleziona la severità 2, essa deve essere associata ai requisiti per il punto di rottura secondo Fraass o all'indice di penetrazione o ad entrambi, misurati sul legante non invecchiato (vedere prospetto 1B).

b) La variazione di massa può essere positiva o negativa.

## SISTEMA DI CLASSIFICAZIONE EMPIRICO

### SPECIFICHE C.E.N. (EN 12591:2009)

prospetto 1B Specifiche dei bitumi per applicazioni stradali con classe di penetrazione da 20 x 0,1 mm a 220 x 0,1 mm - Proprietà associate a regolamenti o ad altri requisiti regionali

Proprietà	Metodo di prova	Unità	20/30	30/45	35/50	40/60	50/70	70/100	100/150	160/220
Indice di penetrazione <sup>a)</sup>	Appendice A <sup>b)</sup>	-	Da -1,5 a +0,7 o NR <sup>c)</sup>	Da -1,5 a +0,7 o NR <sup>c)</sup>	Da -1,5 a +0,7 o NR <sup>c)</sup>	Da -1,5 a +0,7 o NR <sup>c)</sup>	Da -1,5 a +0,7 o NR <sup>c)</sup>	Da -1,5 a +0,7 o NR <sup>c)</sup>	Da -1,5 a +0,7 o NR <sup>c)</sup>	Da -1,5 a +0,7 o NR <sup>c)</sup>
Viscosità dinamica a 60 °C	EN 12596	Pa x s	≥ 440 o NR <sup>c)</sup>	≥ 260 o NR <sup>c)</sup>	≥ 225 o NR <sup>c)</sup>	≥ 175 o NR <sup>c)</sup>	≥ 145 o NR <sup>c)</sup>	≥ 90 o NR <sup>c)</sup>	≥ 55 o NR <sup>c)</sup>	≥ 30 o NR <sup>c)</sup>
Punto di rottura secondo Fraass <sup>a)</sup>	EN 12593	°C	NR <sup>c)</sup>	≤ -5 o NR <sup>c)</sup>	≤ -5 o NR <sup>c)</sup>	≤ -7 o NR <sup>c)</sup>	≤ -8 o NR <sup>c)</sup>	≤ -10 o NR <sup>c)</sup>	≤ -12 o NR <sup>c)</sup>	≤ -15 o NR <sup>c)</sup>
Viscosità cinematica a 135 °C	EN 12595	mm <sup>2</sup> /s	≥ 530 o NR <sup>c)</sup>	≥ 400 o NR <sup>c)</sup>	≥ 370 o NR <sup>c)</sup>	≥ 325 o NR <sup>c)</sup>	≥ 295 o NR <sup>c)</sup>	≥ 230 o NR <sup>c)</sup>	≥ 175 o NR <sup>c)</sup>	≥ 135 o NR <sup>c)</sup>

a) Se si seleziona la severità 2, essa deve essere associata ai requisiti per il punto di rottura secondo Fraass o all'indice di penetrazione o ad entrambi, misurati sul legante non invecchiato.

b) Riferimento all'appendice A normativa del presente documento, che tratta il calcolo dell'indice di penetrazione.

c) NR. Nessun Requisito può essere utilizzato in assenza di regolamenti o altri requisiti regionali per la proprietà nel territorio di utilizzo previsto.

NOTA

La norma obbliga tutti i produttori a dichiarare questi dati e a conformarsi alla marcatura CE.

Ande i BITUMI devono conformarsi alla MARCATURA CE, deve conformarsi alla norma armonizzata EN 12591



Bisogna definire un sistema AVANZATO PRESTAZIONALE sotto il profilo strutturale e teorico: il nuovo sistema di dimensionamento è di tipo PRESTAZIONALE e determina delle GRANDEZZE FONDAMENTALI.

## REOLOGIA E REOMETRIA DEI BITUMI

**REOLOGIA** studio e progetto viscoelastico

Studia i fenomeni connessi al flusso e alla deformazione di materiali complessi, che non obbediscono a leggi semplici di comportamento

### MATERIALI VISCO-ELASTICI

> **Compresenza di componenti elastiche e viscose**

Il bitume è un materiale visco-elastico (funzione del tempo di carico e della frequenza di sollecitazione) TEORIE DI PENNENI E TEMPI DI PENNENI (analisi alterazioni chimico fisica).

Il comportamento dei bitumi dipende da:

- Temperatura
- Tempo di carico (frequenza)
- Invecchiamento (le proprietà variano nel tempo)



### IMPORTANTE

Il comportamento visco-elastico dei bitumi influenza le prestazioni in opera delle pavimentazioni

NOTE: sotto effetto del carico si deforma, quando toglia il carico la deformazione si recupera completamente: lavoro TOTALMENTE RIASSORBITO.

→ LINEARITA' DI COMPORTAMENTO: proporzionalità diretta tra  $(\sigma, \epsilon)$

## REOLOGIA E REOMETRIA DEI BITUMI

$$\epsilon_1 = \frac{\sigma_1}{E} \quad \epsilon_2 = \frac{\sigma_2}{E}$$

**MODELLI ANALOGICI** sono utili per descrivere il modello viscoelastico

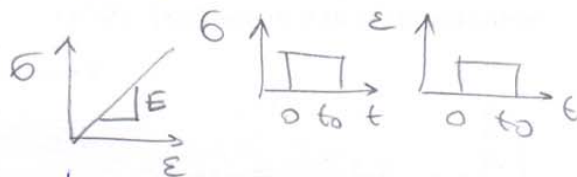
Elasticità lineare - corpo solido ideale



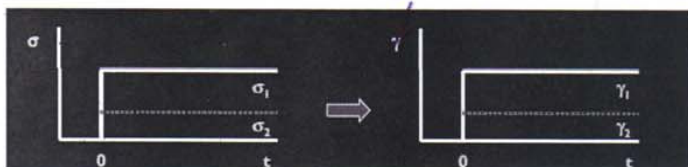
**Molla di Hooke**

$$\sigma = E \cdot \epsilon$$

$$\tau = G \cdot \gamma$$



Se al tempo  $t_0$  toglia il carico, la deformazione viene restituita ISTANTANEAMENTE



- Lo sforzo applicato  $\sigma$  ( $\tau$ ) produce una deformazione  $\epsilon$  ( $\gamma$ ) linearmente dipendente allo sforzo stesso per mezzo del modulo E (G)
- La deformazione è recuperata interamente e istantaneamente una volta rimosso il carico

Il gradiente di deformazione totale è somma dei 2 contributi

$$\dot{\gamma} = \dot{\gamma}_{ee} + \dot{\gamma}_v \quad \dot{\gamma}_{ee} = \text{DEFORMAZ. ELASTICA} = \frac{1}{G} \frac{d\tau}{dt} \quad \dot{\gamma}_v = \frac{\tau}{\eta} \text{ DEF. VISCOSA}$$

## REOLOGIA E REOMETRIA DEI BITUMI

### MODELLI ANALOGICI

Visco-elasticità lineare **ROLLA + DISSIPATORE VISCOSO (DV)**

LIQUIDO VISCOELASTICO

$\sigma =$  deformazione elastica.



**Modello di Maxwell** accoppiamento ROLLA D.V. IN SERIE:  
 → CONTINUITÀ DELLA DEFORMAZIONE

$$\left(\frac{d\gamma}{dt}\right) = \frac{1}{G} \frac{d\tau}{dt} + \frac{\tau}{\eta}$$

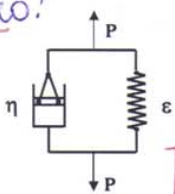
$$\gamma(t) = \left(\frac{1}{G} + \frac{t}{\eta}\right) \cdot \tau$$

ASINTOTO  $\gamma_0$



ACCOUPLAMENTO M. D.V. IN PARALLELO:

CONTINUITÀ DELLA TENSIONE



**Modello di Kelvin-Voigt**

$$\tau = G \cdot \gamma + \eta \frac{d\gamma}{dt}$$

$$\gamma(t) = \gamma_0 \left[ 1 - e^{-\frac{t}{\lambda}} \right] \rightarrow \lambda = \frac{\eta}{G}$$

La risposta dipende dal tempo perché abbiamo la tempo di rilassamento

Componente viscosa dipende dal tempo.

Il dampatore viscoso SPOSTA il raggiungimento di  $\gamma_0$  (funzione di  $\lambda$ )

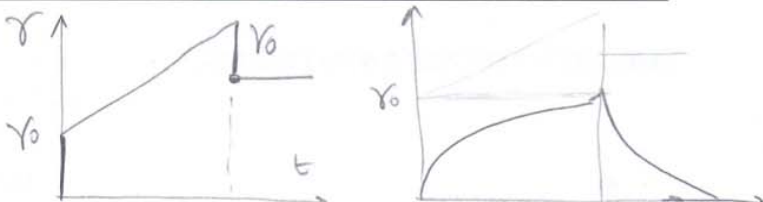
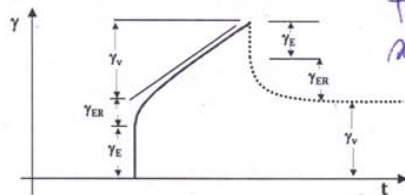
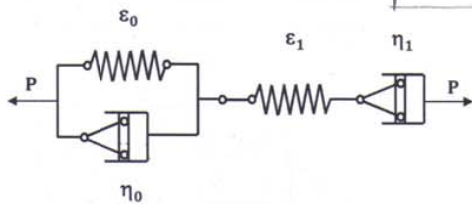
Se il tempo  $t_0$  TOCCA la tensione!

## REOLOGIA E REOMETRIA DEI BITUMI

### MODELLI ANALOGICI

Visco-elasticità lineare

Modello di Burger



**A) MAXWELL** il fluido rilassa solo la deformazione elastica ( $\gamma_0$ ) MA il resto della deformazione è IRREVERSIBILE.

tutta la componente viscosa è IRREVERSIBILE sotto forma di calore.

$$\gamma(t) = \frac{\tau}{G_0} + \frac{\tau}{\eta_0} \cdot (t - t_0) + \frac{\tau}{G_1} \cdot \left[ e^{-\frac{t-t_0}{\lambda_1}} \right]$$

NOTA

Il modello che meglio descrive il comportamento reologico dipende dalla tipologia del bitume e varia con la temperatura

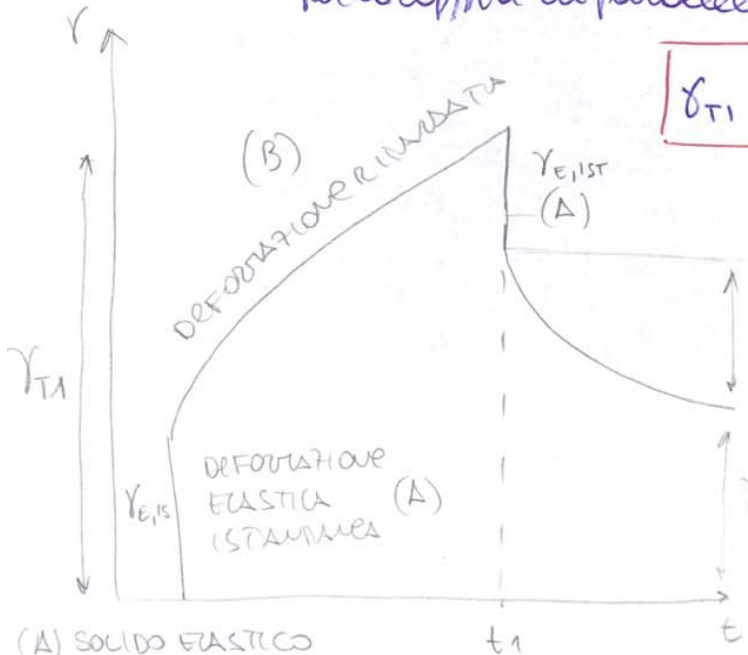
**B) KELVIN-VOIGT** il materiale resiste tutta la deformazione, MA è SPOSTATA nel tempo.



la deformazione è sorta di 3 contributi:

$$\gamma(t) = \frac{\tau}{G_0} + \frac{\tau}{\eta_0} (t-t_0) + \frac{\tau}{G_1} \left[ e^{-\frac{t-t_0}{\lambda_1}} \right]$$

- $\tau/G_0$  = deformazione elastica iniziale dello molla in serie
- $\tau/\eta_0 (t-t_0)$  = deformazione viscosa del dissipatore in serie
- $\tau/G_1 [ \cdot ]$  = deformazione elastica ritardata/storziata per la coppia in parallelo.



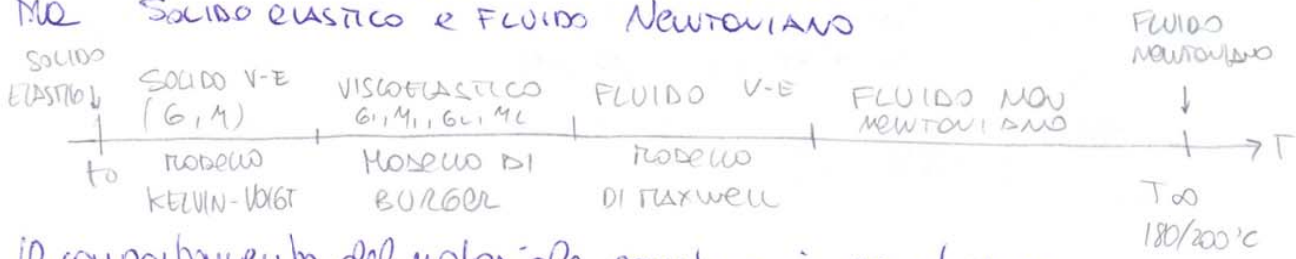
$$\gamma_{T1} = \gamma_{E,1ST} + \gamma_{E,DIFF} + \gamma_{V,1ST}$$

- $\gamma_{E,1ST}$  = deformazione elastica istantanea
  - $\gamma_{E,DIFF}$  = deformazione elastica differita
  - $\gamma_{V,1ST}$  = deformazione viscosa irreversibile
- le deformazioni elastiche vengono restituite quando si toglie il carico.

(A) SOLIDO ELASTICO  
(B) FLUIDO NEWTONIANO

Come si comporta il sistema?

Le bt. subisce una variazione di comportamento in base alla variazione di temperatura; variazione continua di comportamento tra SOLIDO ELASTICO e FLUIDO NEWTONIANO



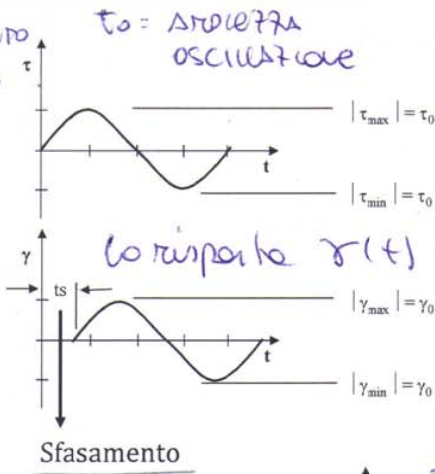
il comportamento del materiale cambia in continuo dal solido elastico al fluido newtoniano: in mezzo esistono s. variazioni, descritte da modelli diversi.

Oscillazione di varia nel tempo con legge armonica  
 1 Hz è 1 oscillazione completa in 1 secondo.

## REOLOGIA E REOMETRIA DEI BITUMI

### Prove in regime oscillatorio

$\delta$  = SFASAMENTO  
 o ANGOLO  
 DI FASE,  
 legato a  $t_s$ .



$\omega = \frac{2\pi}{T}$  pulsazione, legato alla  
 frequenza  $\omega = 2\pi f$   
 $[f] = [Hz = 1/s]$

$$\tau(t) = \tau_0 \cdot \sin(\omega t)$$

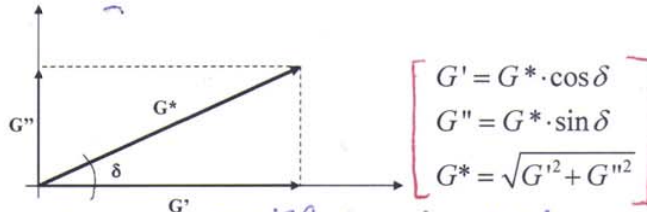
$$\gamma(t) = \gamma_0 \cdot \sin(\omega t - \delta)$$

La risposta  $\gamma(t)$ : risposta variabile con legge sinusoidale  
 la risposta è SFASATA di  $\delta$   
 tra la tensione e deformazione.

### Modulo complesso

$$G^* = G' + iG''$$

$$G^* = \frac{\tau_0}{\gamma_0}$$



$$G' = G^* \cdot \cos \delta$$

$$G'' = G^* \cdot \sin \delta$$

$$G^* = \sqrt{G'^2 + G''^2}$$

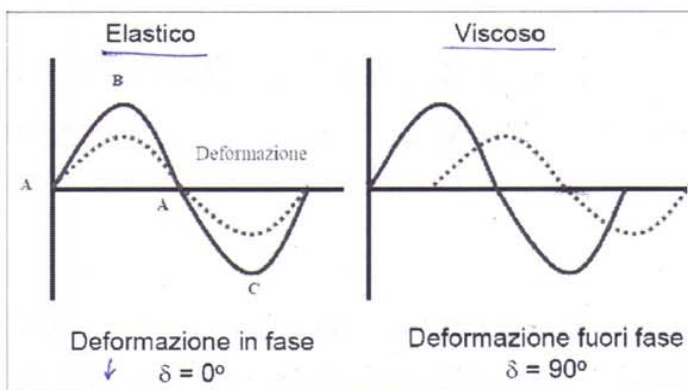
Il materiale è sottoposto ad un regime oscillatorio e ricavo:

- $G^*$  RIGIDITÀ DEL MATERIALE, misurata in regime oscillatorio;
- $\delta$  = SFASAMENTO temporale tra la FORZANTE e la RISPOSTA

## REOLOGIA E REOMETRIA DEI BITUMI

### Prove in regime oscillatorio

In generale  $0 \leq \delta \leq \frac{\pi}{2}$



Il "tipo" di risposta varia al  
 variare della temperatura e  
 della frequenza di  
 oscillazione

La deformazione del materiale  
 è in fase con la tensione

OPPOSIZIONE DI FASE RISPETTO  
 ALLA TENSIONE

$\delta$  = MISURA IL GRADO DI ELASTICITÀ DEL MATERIALE

$G^*$  = MISURA LA RIGIDITÀ DEL MATERIALE



B = ASINTOTO OBLIQUO = ASINTOTO VISCOSO

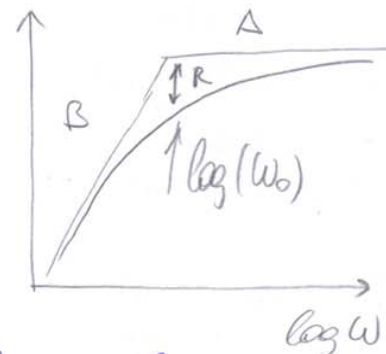
Asintoto inclinato a  $45^\circ$  dove lo  $\tau$  dipende dal materiale e perfettamente VISCOSA: il raggiungimento dell'angolo obliquo significa raggiungere la condizione di flusso (l'angolo è a  $45^\circ$ ).

L'angolo obliquo  $\tau$  raggiunge per ALTI TEMPI DI CARICO.

Ponendo da tempi di carico BASSI  $\rightarrow$  ALTI ho che la risposta del materiale passa da ELASTICA  $\rightarrow$  VISCOSA.

• GRAFICO ( $G^*$ ,  $\omega$ )

$\log G^*$



Descrive la variazione di  $G^*$  alle variazioni della frequenza  $\omega$ .

Situazione diversa ma coerente.

All'aumentare della frequenza, il modulo complesso aumenta

B - ASINTOTO OBLIQUO: quando  $\omega \downarrow$

A - ASINTOTO ORIZZONTALE: quando  $\omega \uparrow$

Ho il passaggio da risposta VISCOSA  $\rightarrow$  ELASTICA.

Il tempo di carico ( $t$ ) e la frequenza ( $\omega$ ) sono correlati

$$\left. \begin{array}{l} \text{Se } t_{\text{carico}} \uparrow \text{ ho la risposta viscosa} \\ \text{Se } \omega \downarrow \text{ ho la risposta viscosa} \end{array} \right\} t_{\text{carico}} = \frac{1}{\omega}$$

$$t_c \uparrow \quad \omega \downarrow \qquad t_c \downarrow \quad \omega \uparrow$$

Associa la risposta del regime continuo con quella oscillante, e viceversa, hanno  $t = \frac{1}{\omega}$ .

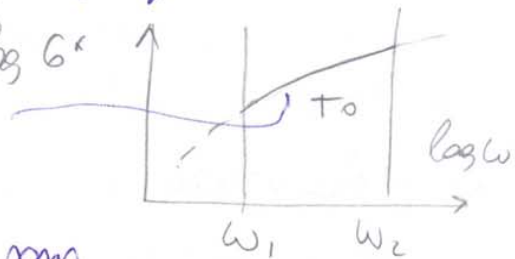
la caratteristica del materiale è la stessa, indipendentemente da come lo si sollecita.

- Tempi di prova non computabili.
- Limiti strumentali nelle frequenze da imporre

La costruzione della curva mentre avviene con il principio di sovrapposizione tempo + temperatura facendo **variare la temperatura**.

Una variazione di coefficiente associata ad un  $\Delta T$ , mantenendo costante  $w$ , lo si può ottenere mantenendo costante la  $T$  e facendo variare la frequenza.

Il valore di  $(G^*, w)$  a  $T_0$  lo si può ottenere facendo una prova dove si varia  $w$ .

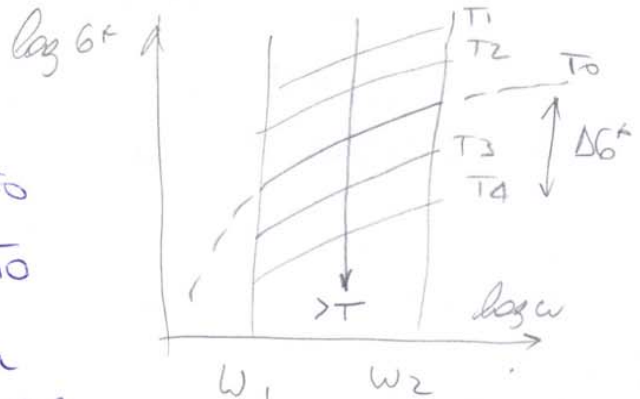


Per ricavare gli altri punti (---) sono sufficienti la temperatura tra gli estremi di  $w$ .

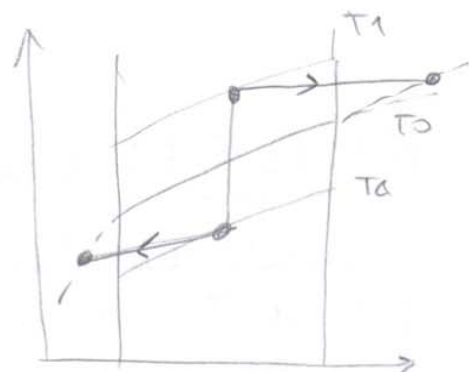
CAMPO DI FREQUENZA PRATICO

A parità di frequenza:

- $G^*(T_4) < G^*(T_0)$       $T_4 > T_0$
- $G^*(T_1) > G^*(T_0)$       $T_1 < T_0$



Lo stesso  $\Delta G$ , in conseguenza di un  $\Delta T$  lo si può anche ottenere tenendo costante la  $T$  e facendo variare la frequenza.



### OPERAZIONE DI TRASLATIONE

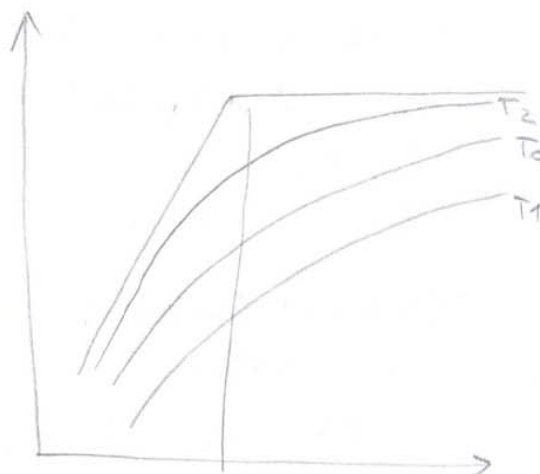
- se  $T < T_0$      TRASLO A DESTRA
- se  $T > T_0$      TRASLO A SINISTRA.

Per ottenere lo stesso valore di  $G^*$  a  $T < T_0$  devo aumentare  $w$ ; per avere  $G^*$  a  $T > T_0$  devo diminuire  $w$ .



Possiamo tracciare la curva usata verso DX/SX applicando a (T)

$$T_2 > T_0 > T_1$$



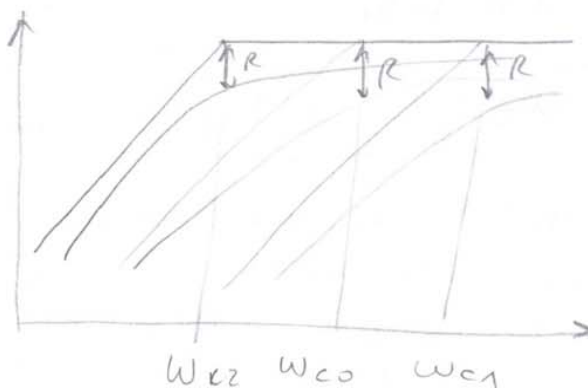
Se traccio la curva la FORZA NON CAMBIA.  
Traslocando la curva cambia solo la FREQUENZA DI CROSS-OVER.

$$\Delta T \leftrightarrow \Delta W$$

$$T - T_0 \leftrightarrow W_R - W_S$$

$$W_S \rightarrow T$$

$$W_R \rightarrow T_0$$



Possiamo tracciare T variando W.

$R = \text{cost}$  e T perché è una caratteristica del mercato.

Se  $T \uparrow$   $W \downarrow$   $t_c \uparrow$

Se  $T \downarrow$   $W \uparrow$   $t_c \downarrow$

Gli effetti prodotti da un aumento di  $T$  sono analoghi a quelli prodotti da una diminuzione di  $W$  su analoghi a un aumento di  $t_c$

Il principio di sovrapposizione è

$$W_R = W_S \text{ a } (T)$$

Gli effetti di conseguenza ad una  $\Delta T$  con  $W = \text{cost}$  li posso ottenere facendo  $\Delta W$  con  $T = \text{cost}$ .

Espressione ANALITICA CURVA MAESTRA (analogia per  $S(t)$ )

$G_g$  = modulo viscoso dell'anello circolare

$\omega_0$  = frequenza di crossover

$R$  = indice reologico

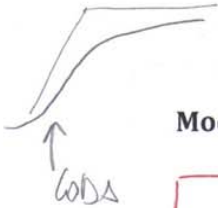
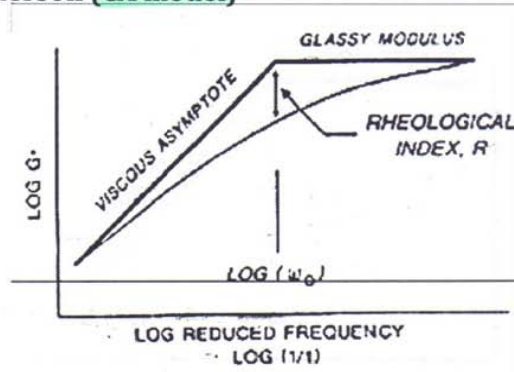
## REOLOGIA E REOMETRIA DEI BITUMI

### Modello analitico di Christensen - Anderson (CA model)

Modello a 3 parametri

$$G^*(\omega) = G_g \left[ 1 + \left( \frac{\omega_0}{\omega} \right)^{\frac{\log 2}{R}} \right]^{\frac{R}{\log 2}}$$

Al posto di  $T$  vale solo  $\omega_0$ .



### Modello analitico di Christensen - Anderson - Marasteanu (CAM model)

$$G^*(\omega) = G_g \left[ 1 + \left( \frac{\omega_0}{\omega} \right)^{\frac{\log 2}{R}} \right]^{\frac{mR}{\log 2}}$$

$m$  = parametro di modello per meglio modellare il comportamento dei bitumi modificati

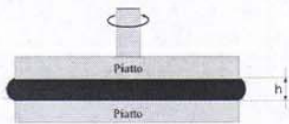
serve per modellare meglio la coda.

## REOLOGIA E REOMETRIA DEI BITUMI

### Attrezzature sperimentali e configurazioni di prova

Prove di taglio per la misura di grandezze tangenziali

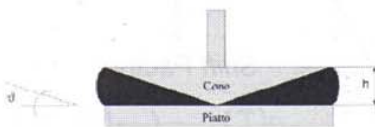
#### Sistema piatto-piatto



$$\tau = (2M) / (\pi R^3)$$

$$\gamma = \frac{\varphi \cdot R}{h}$$

#### Sistema piatto-cono



$$\tau = (3M) / (2\pi R^3)$$

$$\gamma = \frac{R \cdot \varphi}{h} = \frac{R \cdot \varphi}{R \cdot \text{tg}\theta} = \frac{\varphi}{\text{tg}\theta} = \frac{\varphi}{\theta}$$



DSR = REOMETRIA ROTAZIONALE = permette di fare le prove di taglio

lo uniamo nelle medie alte temperature ( $> 10^{\circ}\text{C}$ )

Non lo uniamo per  $T < 10^{\circ}\text{C}$  perché la rigidità del campione sarebbe molto elevata (e comparabile

Attrezzature sperimentali e configurazioni di prova

con la rigidità della macchina) -  
 ↳ LIMITI STRUTTURALI DEL REOMETRO.

**DSR (Dynamic Shear Rheometer)**

le dimensioni del sistema e molto piccolo



Sistema Piatto-Cono  
da 25 mm

Sistema Piatto-Piatto  
da 8 mm



Reometro

$10^{\circ}\text{C} < T < 60/70^{\circ}\text{C}$

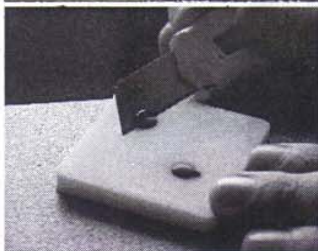
Considero  $T < 120^{\circ}\text{C}$  perché altrimenti il bitume (FUMO) non si sostenterebbe.

## REOLOGIA E REOMETRIA DEI BITUMI

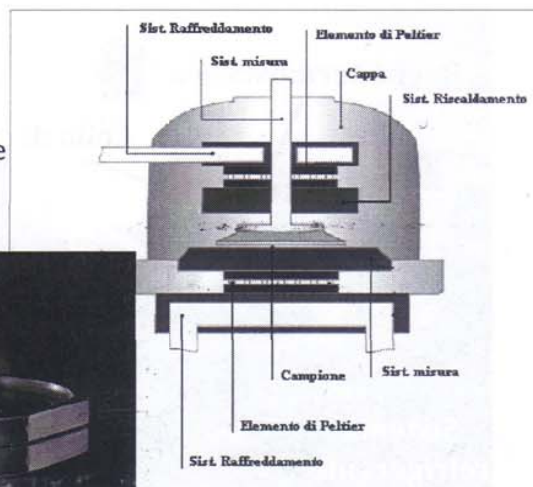
Attrezzature sperimentali e configurazioni di prova

metto il bitume dentro del contenitore in silicone.

**DSR (Dynamic Shear Rheometer)**



Fasi operative

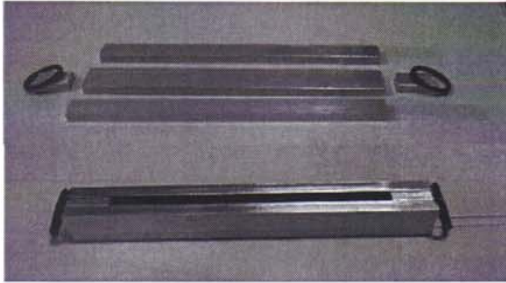


Verso il Bitume nel conero (bitume fluido), lo lascio raffreddare alle buone temperature (per essere sulla temperatura fuggida), poi lo raso e scassero.

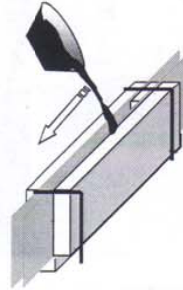
## REOLOGIA E REOMETRIA DEI BITUMI

### Attrezzature sperimentali e configurazioni di prova

#### BBR (Bending Beam Rheometer)



Travetto prismatico  
(L = 125 mm, h = 6,25 mm)



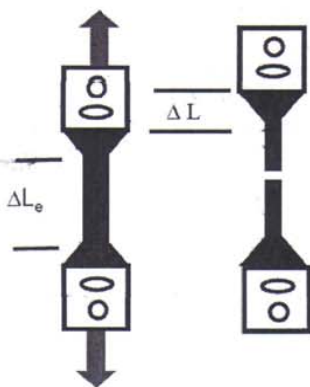
Campione a forme osso di cane.

Le estremità sono collegate a 2 dispositivi di caricamento l'applicazione del carico: provino soggetto a forze di trazione.  
Vogliamo che le deformazioni si concentrino nella zona centrale per avere UNIFORMITÀ di deformazione.

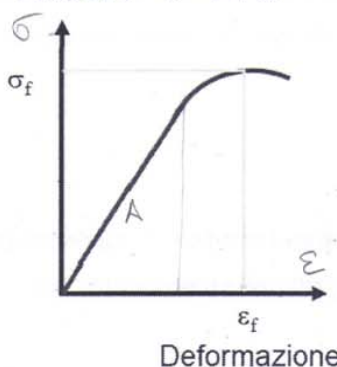
## REOLOGIA E REOMETRIA DEI BITUMI

### Attrezzature sperimentali e configurazioni di prova

#### Prove in configurazione di trazione diretta *ALLE BASSE TEMPERATURE*



$$\text{Tensione} = \sigma = P / A$$



$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_0}$$

$L_0$  = LUNGHEZZA INIZIALE

Prova alle buone T.

A: tratto lineare, comportamento elastico

la forza è applicata in modo continuo con velocità di spostamento costante per garantire una variazione di deformazione ( $\Delta \epsilon$ ) costante.



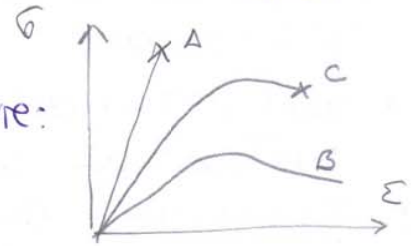
## PROVA DTT (PROVA IN REGIME CONTINUO)

Un'estremità è fissa mentre l'altra si sposta: aumenta la  $\epsilon$ .  
 Il sistema è messo in un bagno termostatico  $T_{DTT} = T_{DDR}$

A: MATERIALE FRAGILE (BRITTLE)

B: MATERIALE DUTILE, il materiale giunge  
 alle condizioni ultime non istantaneamente:  
 ha la rottura con  $\epsilon$  MOLTO GRANDI.  
 oltre, la  $\sigma$  ha la  $\epsilon$ .

C: COMPORTAMENTO INTERMEDIO



Per uno stesso bitume, sono ottenibili diversi comportamenti  
 al variare delle condizioni di prova.

Facendo variare la  $T$  passo dal comportamento FRAGILE  $\rightarrow$  DUTILE:

- $T_{BASSE} = \text{FRAGILE}$
- $T_{ALTA} = \text{DUTILE}$

Per il principio di sovrapposizione Tempo  $= T$ , sono  
 ottenibili lo stesso risultato facendo:

- variare la  $T$ , mantenendo costante la velocità di  
 deformazione  $\dot{\epsilon} = d\epsilon/dt$ ;
- variare la  $\dot{\epsilon}$  ma tenendo costante la  $T$ .

Se la  $T \uparrow$ , incrementa il tempo di carico

Se diminuisce la velocità di deformazione ho il  
 passaggio da fragile a duttile.

Se  $\dot{\epsilon} \uparrow \rightarrow$  MATERIALE FRAGILE, DEFORMAZIONE REPENTINA

Se  $\dot{\epsilon} \downarrow \rightarrow$  MATERIALE DUTILE.

Prova in regime continuo, non è una prova di creep perché la  
 velocità  $\dot{\epsilon}$  varia mentre  $\epsilon$  è costante.

## INVECCHIAMENTO DEI BITUMI

Per caratterizzare il comportamento dei bitumi devo  
 definire il loro GRADO DI INVECCHIAMENTO.

Non alterazione delle proprietà reologiche per processi  
 di alterazione chimico/fisica.

Il getto d'aria inverte il bitume, che per effetto della ALTA T e per effetto della rotazione e del getto d'aria, il bitume si ESPANDE e ricopre tutta la SUPERFICIE INTERNA DEI BICCHIERE, formando una pellicola sottile che copre il campione.

Il trattamento dura 80 MINUTI; poi caso il bitume e lo sottopongo ai test.

Il bitume ottenuto dal RTFOT è RAPPRESENTATIVO del bitume che si manovra sulle pavimentazione dopo la sua costruzione.

### PAV (INVECCHIAMENTO A LUNGO TEMPO)

Il bitume ottenuto dallo PAV è rappresentativo di quello ottenuto dopo un certo periodo di vita utile (7-10 ANNI).

STANDARD DI RIFERIMENTO per i processi di I.L.T.

Ho un cilindro a pavi dove metto il bitume a DISCHI.

Con P↑T↑ ho un acceleramento dei fenomeni di ossidazione e polverizzazione che avvengono in opera.

Il bitume ricoverato anche sottoposto ad analisi di laboratorio.

IMPO : PRIMA RTFOT POI PAV

Il bitume del PAV ha subito precedentemente il RTFOT.



LIMITI DEL SISTEMA EMPIRICO: 1) TECNOLOGICI

2) CONCETTUALI: misure grandezze convenzionali e non funzionali

3) L. DI IMPOSTAZIONE: sistema di tipo prescrittivo dove le

migliorano

## SISTEMA DI CLASSIFICAZIONE PRESTAZIONALE

SISTEMA  
EVOLUTO

non collegate  
da quelle  
richieste  
in opera.

### Requisiti di un sistema di caratterizzazione prestazionale

- Basato su grandezze razionali e non empiriche
- Misure sperimentali eseguite in condizioni controllate e significative
- Specifiche tecniche legate ai principali **fenomeni di degrado** (ossatura, rottura per fatica, rottura di origine termica)

Effettuare una misura cercando di riprodurre le condizioni in opera ( $T, w$ , grado di invecchiamento ...).

## SISTEMA DI CLASSIFICAZIONE PRESTAZIONALE

### PROGRAMMA SHRP (*Strategic Highway Research Program, 1994*)

Obiettivi

- Miglioramento delle prestazioni delle sovrastrutture
- Incremento delle conoscenze sui leganti e sui conglomerati bituminosi
- Migliorare lo stato dell'arte (Norme Tecniche di Capitolato, metodologie di prova)

Il prodotto di SHRP è il sistema

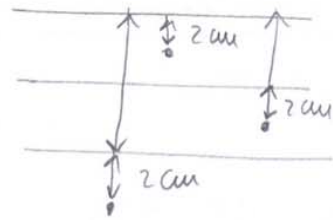
### **SUPERPAVE**

Superior Performing Asphalt Pavements

SISTEMA DI  
CLASSIFICAZIONE  
PRESTAZIONALE

Nota  $T_{aero}$ , calcolo la T media dello pannello a 20mm dalla superficie interna degli isolanti.

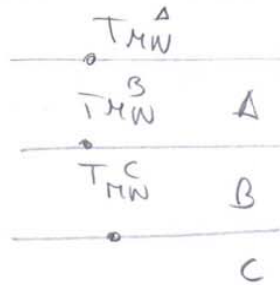
$$T_p(h) = f(T_{aero}, \Phi_{interiore})$$



$T_{MN}^P$  : MINIMO ANNUO

Faccio il minimo annuo per n-anni per determinare lo T dello pannello nella parte superiore dello strato.

La scelta del PG dev'essere compatibile con i 2 crit.



Perché uno 2 metodi differenti?

- Alle alte T ho il problema dell' ORIZZIENTAMENTO  
Tutti i giorni dell'anno danno un contributo all'orizzontamento: FEBBRE INCOERENZA  
con la media mobile "STUSSO" IPICCHI.
- la rottura per origine termica può avvenire in seguito ad un singolo evento ( $T_{MN}$ ) quindi considero i minimi annui e li medio.



## SISTEMA DI CLASSIFICAZIONE PRESTAZIONALE

### Sistema SUPERPAVE

- Prove reologiche

- Misura di proprietà fondamentali legate alle prestazioni in opera delle miscele

- Condizioni di prova

- Rappresentative delle temperature di servizio e delle fasi costruttive

- Stato del bitume

- Grado di invecchiamento a breve e lungo termine

Tabella che permette di classificare il bitume.  
Ho più alternative mi valgo di T<sub>HW</sub>.

Suddiviso in 3 blocchi

- A - ORIGINAL BINDER
- B - INVECCHIAMENTO BREVE TERMINE
- C - INVECCHIAMENTO LUNGO TERMINE.

temperature alle quali devo soddisfare i requisiti mensili.

## SISTEMA DI CLASSIFICAZIONE PRESTAZIONALE

### Sistema SUPERPAVE (AASHTO M 320)

PERFORMANCE GRADE	PG 46-			PG 52-						PG 58-					PG 64-						
	34	40	46	10	16	22	28	34	40	46	16	22	28	34	40	10	16	22	28	34	40
Average 7-day Maximum Pavement Design Temperature, °C	< 46			< 52						< 58					< 64						
Minimum Pavement Design Temperature, °C	> -34	> -40	> -46	> -10	> -16	> -22	> -28	> -34	> -40	> -46	> -16	> -22	> -28	> -34	> -40	> -10	> -16	> -22	> -28	> -34	> -40
<b>A ORIGINAL BINDER</b>																					
Flash Point Temp, T48: Minimum °C	230																				
Viscosity, ASTM D4402 <sup>1</sup> : Maximum, 3 Pa·s, Test Temp, °C	135																				
Dynamic Shear, TP5 <sup>2</sup> : G*/sinδ, Minimum, 1.00 kPa Test Temp @ 10 rad/s, °C	46			52						58					64						
<b>B ROLLING THIN FILM OVEN (T240) OR THIN FILM OVEN RESIDUE (T179)</b>																					
Mass Loss, Maximum, percent	1.00																				
Dynamic Shear, TP5 <sup>2</sup> : G*/sinδ, Minimum, 2.20 kPa Test Temp @ 10 rad/s, °C	46			52						58					64						
<b>C PRESSURE AGING VESSEL (PAV) RESIDUE (PP1)</b>																					
PAV Aging Temperature, °C <sup>3</sup>	90			90						100					100						
Dynamic Shear, TP5 <sup>2</sup> : G*/sinδ, Maximum, 5000 kPa Test Temp @ 10 rad/s, °C	10	7	4	25	22	19	16	13	10	7	25	22	19	16	13	31	28	25	22	19	16
Physical Hardening <sup>4</sup> Report																					
Creep Stiffness, TP1 <sup>1</sup> : S, Maximum, 300 MPa, m - value, Minimum, 0.300 Test Temp @ 60s, °C	-24	-30	-36	0	-6	-12	-18	-24	-30	-36	-6	-12	-18	-24	-30	0	-6	-12	-18	-24	-30
Direct Tension, TP3 <sup>1</sup> : Failure Strain, Minimum, 1.0% Test Temp @ 1.0 mm/min, °C	-24	-30	-36	0	-6	-12	-18	-24	-30	-36	-6	-12	-18	-24	-30	0	-6	-12	-18	-24	-30

# SISTEMA DI CLASSIFICAZIONE PRESTAZIONALE

## Sistema SUPERPAVE (AASHTO M 320)

PERFORMANCE GRADE	PG 46-			PG 52-						PG 58-				PG 64-							
	34	40	46	10	16	22	28	34	40	46	16	22	28	34	40	10	16	22	28	34	40
Average 7-day Maximum Pavement Design Temperature, °C	<46			<52						<58				<64							
Minimum Pavement Design Temperature, °C	>-34	>-40	>-46	>-10	>-16	>-22	>-28	>-34	>-40	>-46	>-16	>-22	>-28	>-34	>-40	>-10	>-16	>-22	>-28	>-34	>-40
<b>ORIGINAL BINDER</b>																					
Flash Point Temp, T60: Minimum °C	230																				
Viscosity, ASTM D4402: Maximum, 3 Pa·s, Test Temp, °C	135																				
Dynamic Shear, TP5: G* <sub>min</sub> , Minimum, 1.00 kPa Test Temp @ 10 rad/s, °C	46	52						58				64									
<b>ROLLING THIN FILM OVEN (T240) OR THIN FILM OVEN RESIDUE (T179)</b>																					
Mass Loss, Maximum, percent	1.00																				
Dynamic Shear, TP5: G* <sub>min</sub> , Minimum, 2.26 kPa Test Temp @ 10 rad/s, °C	46	52						58				64									
<b>PRESSURE AGING VESSEL (PAV) RESIDUE (PP1)</b>																					
PAV Aging Temperature, °C	90			90						100				100							
Dynamic Shear, TP5: G* <sub>min</sub> , Maximum, 5000 kPa Test Temp @ 10 rad/s, °C	10	7	4	25	22	19	16	13	10	7	25	22	19	16	13	31	28	25	22	19	16
<b>Physical Hardening<sup>1</sup></b>																					
Report																					
Creep Stiffness, TP1: S, Maximum, 300 MPa, m - value, Minimum, 0.300 Test Temp @ 60s, °C	-24	-30	-36	0	-6	-12	-18	-24	-30	-36	-6	-12	-18	-24	-30	0	-6	-12	-18	-24	-30
Direct Tension, TP3: Failure Strain, Minimum, 1.0% Test Temp @ 1.0 mm/min, °C	-24	-30	-36	0	-6	-12	-18	-24	-30	-36	-6	-12	-18	-24	-30	0	-6	-12	-18	-24	-30

Ciascuna specifica tecnica è correlata ad una tipologia di degrado

# SISTEMA DI CLASSIFICAZIONE PRESTAZIONALE

## Sistema SUPERPAVE (AASHTO M 320)

PERFORMANCE GRADE	PG 46-			PG 52-						PG 58-				PG 64-							
	34	40	46	10	16	22	28	34	40	46	16	22	28	34	40	10	16	22	28	34	40
Average 7-day Maximum Pavement Design Temperature, °C	<46			<52						<58				<64							
Minimum Pavement Design Temperature, °C	>-34	>-40	>-46	>-10	>-16	>-22	>-28	>-34	>-40	>-46	>-16	>-22	>-28	>-34	>-40	>-10	>-16	>-22	>-28	>-34	>-40
<b>ORIGINAL BINDER</b>																					
Flash Point Temp, T60: Minimum °C	230																				
Viscosity, ASTM D4402: Maximum, 3 Pa·s, Test Temp, °C	135																				
Dynamic Shear, TP5: G* <sub>min</sub> , Minimum, 1.00 kPa Test Temp @ 10 rad/s, °C	46	52						58				64									
<b>ROLLING THIN FILM OVEN (T240) OR THIN FILM OVEN RESIDUE (T179)</b>																					
Mass Loss, Maximum, percent	1.00																				
Dynamic Shear, TP5: G* <sub>min</sub> , Minimum, 2.26 kPa Test Temp @ 10 rad/s, °C	46	52						58				64									
<b>PRESSURE AGING VESSEL (PAV) RESIDUE (PP1)</b>																					
PAV Aging Temperature, °C	90			90						100				100							
Dynamic Shear, TP5: G* <sub>min</sub> , Maximum, 5000 kPa Test Temp @ 10 rad/s, °C	10	7	4	25	22	19	16	13	10	7	25	22	19	16	13	31	28	25	22	19	16
<b>Physical Hardening<sup>1</sup></b>																					
Report																					
Creep Stiffness, TP1: S, Maximum, 300 MPa, m - value, Minimum, 0.300 Test Temp @ 60s, °C	-24	-30	-36	0	-6	-12	-18	-24	-30	-36	-6	-12	-18	-24	-30	0	-6	-12	-18	-24	-30
Direct Tension, TP3: Failure Strain, Minimum, 1.0% Test Temp @ 1.0 mm/min, °C	-24	-30	-36	0	-6	-12	-18	-24	-30	-36	-6	-12	-18	-24	-30	0	-6	-12	-18	-24	-30

Ciascuna specifica tecnica è riferita ad un certo grado di invecchiamento



$\omega$  = frequenza veduta di percorrenza del veicolo

$G^*/\sin \delta$  è un parametro dell'ormaiamento

Se rispetto queste 2 condizioni è così se limitom l'effetto del bitume

## SISTEMA DI CLASSIFICAZIONE PRESTAZIONALE nell'ormaiamento

Sistema SUPERPAVE 6°, 7° RIGA DELLA TABELLA

Ormaiamento - Parametro di controllo



Prova al DSR

$\omega = 10 \text{ rad/s}$

$T_{\text{max}}$  di progetto reale  
l'ormaiamento è alle ALTE T



Condizioni critiche

- o alte temperature di servizio (climi caldi)
- o traffico (veicoli lenti)

$G^*/\sin \delta$  sul bitume vergine  $\geq 1.00 \text{ kPa}$

$G^*/\sin \delta$  sul bitume trattato al RTFOT  $\geq 2.20 \text{ kPa}$

Life span le  
specifiche del  
bitume delle  
condizioni  
più gravose  
(estive estive)

Valore: VALORE ALTO DI  $G^*$  (ELEVATA RIGIDEZZA) E ANGOLO DI FASE BASSO  
(materiale con elevato grado di elasticità)

Riduce l'ormaiamento con:

- Limitando le deformazioni totali con un aumento di  $G^*$ ;
- Rendendo una parte delle deformazioni non reversibili (elastiche) con una diminuzione di  $\delta$ .

Il controllo è fatto nelle condizioni più gravose.

$$\frac{G^*}{\sin \delta} = 1 \text{ kPa} \text{ alle } T_{\text{max}}$$

## SISTEMA DI CLASSIFICAZIONE PRESTAZIONALE

Sistema SUPERPAVE

Ormaiamento - Parametro di controllo

L'invecchiamento produce un aumento di rigidità ed aumento del grado di elasticità

$$G^* \uparrow \quad \delta \downarrow$$

### Domanda

Perché imporre un valore di soglia minimo al parametro  $G^*/\sin \delta$ ?

### Risposta

Occorre garantire un sufficiente grado di rigidità ed elasticità per contrastare l'accumulo di deformazioni permanenti

Il controllo va effettuato nelle condizioni di invecchiamento più gravose (bitume vergine o invecchiato a breve termine)

Perché ho il doppio controllo?

Concettualmente no ho ma il bitume originale/vergine ma non posso neanche misurare tutti i casi di invecchiamento.

Da un impianto all'altro combino le condizioni di invecchiamento

$\frac{G^*}{\sin \delta} > 2,2 \text{ kPa}$  condizione più restrittiva reale dopo il trattamento ho che il bitume non è invecchiato.



Prova di creep al BBR perché è T nuovo BASSE, inoltre, per simulare il fenomeno, le condizioni imposte dal gradiente termico sono continue (ecco perché non usiamo la prova rotazionale).

## SISTEMA DI CLASSIFICAZIONE PRESTAZIONALE

Mi dice un righetto analogo a quello dell'angolo di fase.

M=0,5 tempo di cross-over.

### Sistema SUPERPAVE

Rottura di origine termica - Parametro di controllo

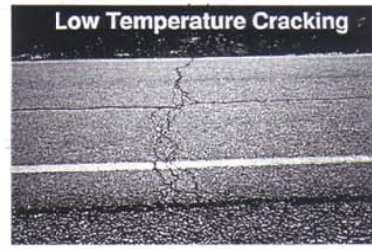


Prova al BBR

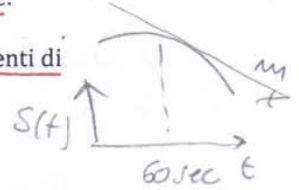
$t_{carico} = 60 \text{ s}$

$T_{minima} \text{ di progetto} + 10^\circ\text{C}$

(l'aumento di  $10^\circ\text{C}$  consente di ridurre il tempo di carico da 2 h a 60 s, per il principio di equivalenza)



Condizioni critiche:  
 o Climi freddi  
 o Repentini abbassamenti di temperatura



$S_{60}$  sul bitume trattato al PAV  $\leq 300 \text{ MPa}$

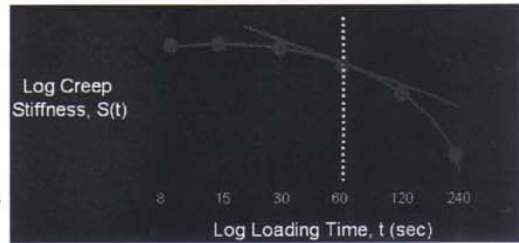
$m_{60}$  sul bitume trattato al PAV  $\geq 0,3$

M = coefficiente angolare della retta

$M = 0$  ASINTOTO ORIZZONTALE, RISPOSTA ELASTICA

$M = 1$  retta a  $45^\circ$ , ASINTOTO OBLIQUO, RISPOSTA VISCOSA

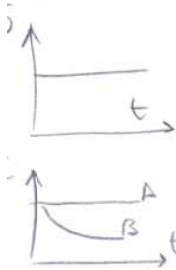
$$m = \frac{d \log S}{d \log t}$$



Per prevenire la rottura di origine termica:

- 1) Ridurre lo STATO DI COAZIONE ( $\downarrow S$ ):  $\sigma = \epsilon S = \alpha \Delta T S$  rigidezza del materiale, la voglio bene.
- 2) Il materiale deve avere un sufficiente grado di rilassamento: devo rilassare la tensione

## SISTEMA DI CLASSIFICAZIONE PRESTAZIONALE



### Sistema SUPERPAVE

Rottura di origine termica - Parametro di controllo

Non voglio un materiale troppo rigido o un materiale sufficientemente viscoso.

A = Materiale elastico  
 B = M. Visco-elastico

### Domanda

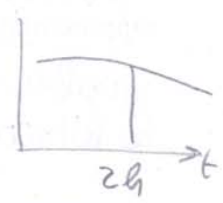
Perché imporre un valore di soglia massimo a  $S_{60}$  ed un valore di soglia minimo a  $m_{60}$ ? Perché le specifiche PAV?

L'umidità produce un irrigidimento e un aumento del GRADO DI ELASTICITÀ.

### Risposta

Occorre garantire una rigidezza sufficientemente ridotta ed una sufficiente capacità di rilassamento (riduzione dello stato coattivo).

Il controllo va effettuato nelle condizioni di invecchiamento più gravose (bitume invecchiato a lungo termine)



Perché  $T = T_{min}^{prog} + 10^\circ\text{C}$ ?

Sfrutto il principio di sovrapposizione tempo  $\neq T$ : invece che fare 2h di prova,  $> T$  di  $10^\circ\text{C}$  e ottengo, in 1 minuto, lo stesso valore che avrei avuto dopo 2h alla  $T$  di progetto.

LIMITE DELL'ASSUNZIONE: considero uno shift factor costante per tutti i BITUMI.



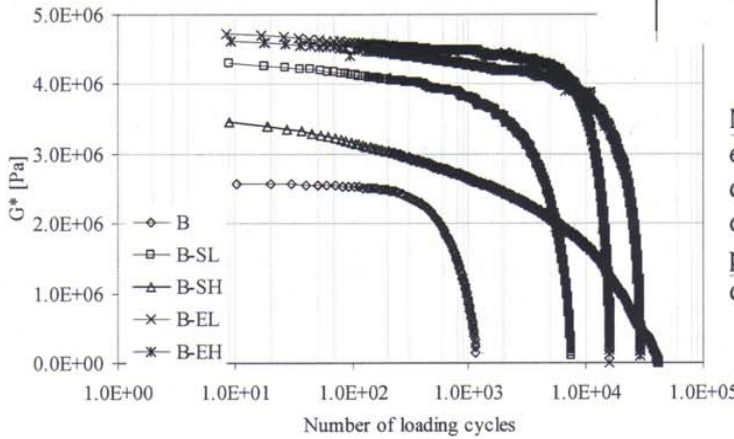
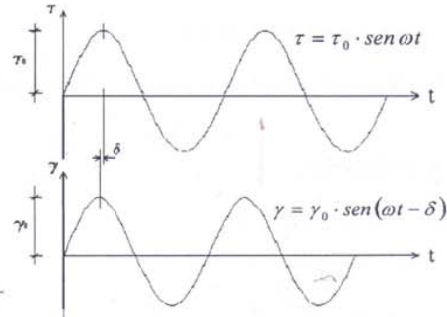
Prova di rottura ROTAZIONALE: applico una sollecitazione sinusoidale ( $\sigma, \omega$ ) fino alla rottura e durante la prova MISURO  $G^*$

Se il materiale non subisce danni  
 $\hookrightarrow G^* = \text{costante}$

**METODI EVOLUTI**

**Time Sweep Tests (NCHRP 9-10)**

Prova al DSR eseguita a frequenza e temperatura costante fino al raggiungimento della rottura del materiale



Nel corso della prova, per effetto dell'accumularsi del danno, il modulo complesso  $G^*$  subisce progressiva una diminuzione

Nella realtà  $G^*$  è costante all'inizio poi ha una decrescita rapida fino al raggiungimento delle condizioni di rottura: l'aumento evidente è sudore dei microdanni.

**METODI EVOLUTI**

CRITERIO DI ROTTURA: APPROCCIO ENERGETICO

- $\tau_{0,i}$  = deformazione al ciclo  $i$ -esimo
- $W_i$  = energia specifica per unità di volume
- $\tau_{0,i}$  = ampiezza del ciclo  $i$ -esimo
- $\delta_i$  = angolo di fase

**Time Sweep Tests (NCHRP 9-10)**

L'interpretazione dei dati avviene seguendo un approccio energetico

➤ ENERGIA SPECIFICA DISSIPATA AD OGNI CICLO DI CARICO

$$W_i = \pi \tau_{0,i} \gamma_{0,i} \sin(\delta_i)$$

➤ RAPPORTO DELL'ENERGIA DISSIPATA (DISSIPATED ENERGY RATIO)

$$DER = \frac{\sum_{i=1}^n W_i}{W_n}$$

energia totale dissipata durante  $n$  cicli  
 energia dissipata al ciclo  $n$ -esimo

Ciclo per ciclo calcolo il rapporto fra l'energia dissipata cumulata e l'energia dissipata durante il ciclo.

Abbiamo ipotizzato il bitume sciolto, il più di ventore fluido con un aumento di temperatura.

Il bitume viene usato in altre forme, come l'EMULSIONE BITUMINOSA o il BITUME SCHIUMATO alle BASSE TEMPERATURE o A FREDDO



**POLITECNICO DI TORINO**  
Corso di Laurea Magistrale  
in Ingegneria Civile  
a.a. 2013-14



**Costruzione di Strade, Ferrovie ed Aeroporti (03ALVMX)**



**SOVRASTRUTTURE STRADALI E AEROPORTUALI**

Emulsioni bituminose e bitume schiumato

## EMULSIONI BITUMINOSE

### Definizione

L'emulsione bituminosa è una dispersione di bitume in acqua.

Bitume = mezzo disperso

Acqua = mezzo disperdente

Oil in Water (O/W) (può succedere anche W/O)

### Vantaggi

- ✓ Ambientali (no emissioni nocive)
- ✓ Economici (applicazione a freddo = risparmio energetico) *risparmio nello T DA IMPORRE*
- ✓ Sicurezza

Perché non lo usiamo sempre?

La tecnologia legata alle emulsioni bituminose è MOLTO COMPLICATA

LIMITI PRATICI: l'emulsione dev'essere usata in TEMPI RAPIDI, che non sono compatibili con i tempi di trasporto.

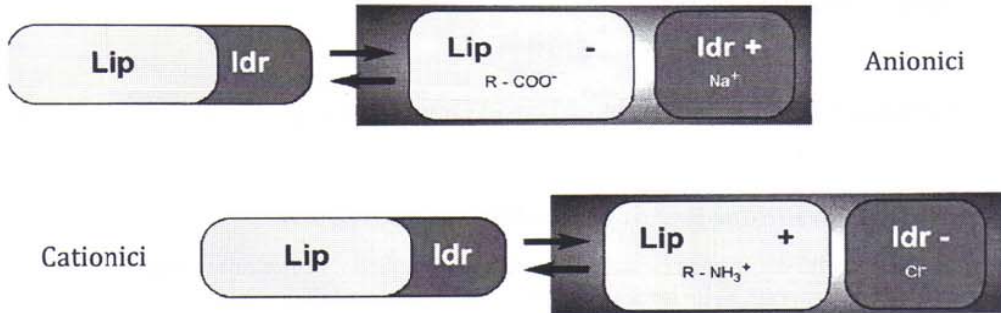
Però viene usato per la produzione in sito.



## EMULSIONI BITUMINOSE

### Emulsionante (tensioattivo)

Meccanismo di dissociazione in acqua



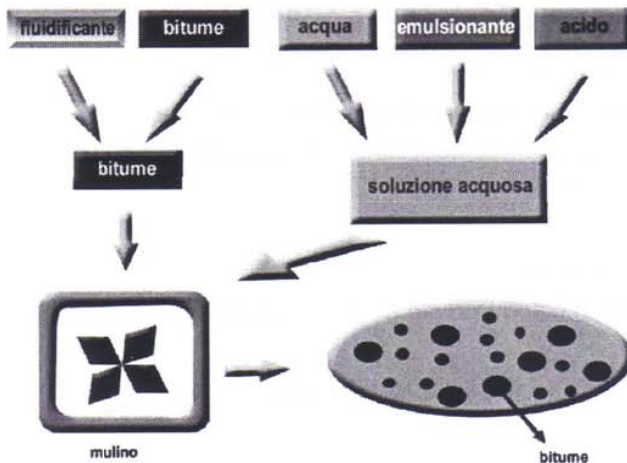
Emulsione: frammentare il bitume in particelle  $\phi$  micron  
FLUIDIFICANTE / FLUSSANTE oia a bassa viscosità da viene miscelata  
 per abbassare la viscosità totale (non sempre presente).

La soluzione acquosa, unita al bitume, viene trattata da un mulo  
 collosale che riduce il bitume in goccioline: il bitume viene  
 forzato a passare in un'apertura di  $\phi$  micron.

**EMULSIONI BITUMINOSE** se non c'è bene il tensioattivo, le gocce  
 coagulerebbero.

### Processo di produzione

L'emulsione del bitume consiste nel frammentare il  
 bitume in particelle di piccole dimensioni (pochi micron),  
 caricarle elettricamente e dotarle di potere repulsivo



### Parametri di produzione:

- Energia di dispersione
- Viscosità e temperatura dei componenti
- Dosaggio dei componenti

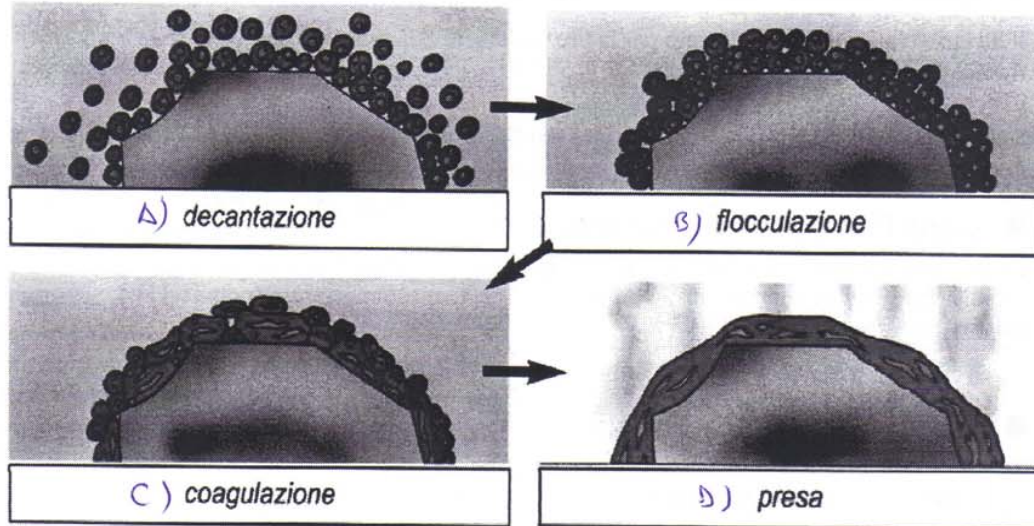
a) le gocce decantano sulla superficie delle particelle per peso proprio.

c) l'acqua evapora e le particelle del bitume aderiscono all'aggregato.

## EMULSIONI BITUMINOSE

### Processo di rottura e presa

Il fattore è il tempo della rottura delle fasi e minore è la velocità di rottura.



Come scelsi l'emulsione e la velocità di rottura?  
E' funzione del tipo di lavorazione:

- Se voglio una presa rapida: R, RR
- Se voglio aumentare i tempi di rottura: L, LL.

## EMULSIONI BITUMINOSE

### CLASSIFICAZIONE

#### 3. Velocità di Rottura

La velocità di rottura dipende da numerosi fattori:

- Condizioni climatiche (umidità relativa e temperatura);**
- Temperatura emulsione;**
- Proprietà aggregati (natura chimica, pulizia, ecc.);**
- Tipo di applicazione e modalità esecutive.**

➔ **NON esiste una  
velocità di rottura in  
valore assoluto**

Convenzionalmente si distinguono E.B. a rottura SOVRASTABILIZZATA (LL), LENTA (L), MEDIA (M), RAPIDA (R), SUPER RAPIDA (RR),



EMULSIONE idrofila che da un codice alfanumerico

B = BITUME STRADALE, possono avere delle emulsioni per altri impieghi come impermeabilizzare la copertura degli edifici...

## EMULSIONI BITUMINOSE

### Denominazione

#### Norma UNI EN 13308 (2005)- E.B. Cationiche

Parametri considerati:

<b>C</b>	emulsione bituminosa Cationica
<b>Contenuto di legante residuo</b> (es. 65)	
<b>B</b>	Bitume stradale
<b>P</b>	se sono presenti Polimeri (emulsioni modificate)
<b>F</b> solo se > 2%	se è presente più del 2% di Flussante
<b>Classe di rottura</b>	da 1 (+ veloce) a 7 (+ lenta); es. in Italia 2 = super rapida

Esempi:

<b>C 69 B2</b>	emulsione bituminosa Cationica al 69% di Bitume residuo, classe di rottura 2
<b>C 65 BPF 6</b>	emulsione bituminosa Cationica al 65% di Bitume residuo con Polimeri, con più del 2% di Flussante, classe di rottura 6

**Flussante** - prodotto oleoso a bassa viscosità, la cui funzione è quella di abbassare la viscosità del bitume e favorirne la dispersione in acqua

ABBASSA LA VISCOSITÀ

In passato è stata impiegata la seguente denominazione sulla base della precedente classificazione:

<b>ECR 65</b>	Emulsione bituminosa Cationica a rottura Rapida al 65% di bitume residuo
<b>ECR 65 M</b>	idem ma con bitume residuo Modificato.

## EMULSIONI BITUMINOSE

le emulsioni si possono differenziare in base alla specifica lavorazione.

### Norma UNI EN 13308 (2005)

#### APPLICAZIONI STRADALI

Prove sull'emulsione	Norma di riferimento	Unità di misura	Mano d'attacco	Trattamento impregnazione	Trattamento superficiale	Slurry seal	Riciclaggio	Rappezzi Buche
	DENOMINAZIONE (denominazione CEN)			EC M 55 (C 55 B 4)	EC L 55 (C 55 B 5)	EC R 65 M (C 65 BP 3)	EC L 60 M (C 60 BP 6)	EC L 60 M (C 60 BP 6)
Polarità	EN 1430	A/C	C	C	C	C	C	C
Contenuto di bitume+flussante da distillazione	UNI EN 1431	%	>53	>53	>65	>58	>58	>63
Contenuto di bitume da contenuto d'acqua	EN 1428	%	53 - 57	53 - 57	65 - 69	58 - 62	58 - 62	63 - 67
Indice di rottura Valore di rottura	EN 13075-1	classe n° puro	4 70 - 130	5 120 - 180	3 50 - 100	6 170 - 230	6 170 - 230	3 50 - 100
Tendenza alla sedimentazione 7gg	EN 12847	%	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Trattenuto al setaccio 0,5 mm	EN 1429	%	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
CARATTERISTICHE DEL BITUME RESIDUO								
Prove sul bitume residuo	Penetrazione a 25 °C	UNI EN 1429 CNR 24/71	dmm	70 - 220	70 - 220	50 - 70	50 - 70	50 - 70
	Rammollimento	UNI EN 1427 CNR 35/73	°C	35 - 45	35 - 45	>65	>60	>60
	Ritorno elastico	EN 13308	%	nc	nc	>75	>50	>50

Cos'è? Legante miscelato alle ACET con ACQUA FREDDA e AIR in una camera di espansione.

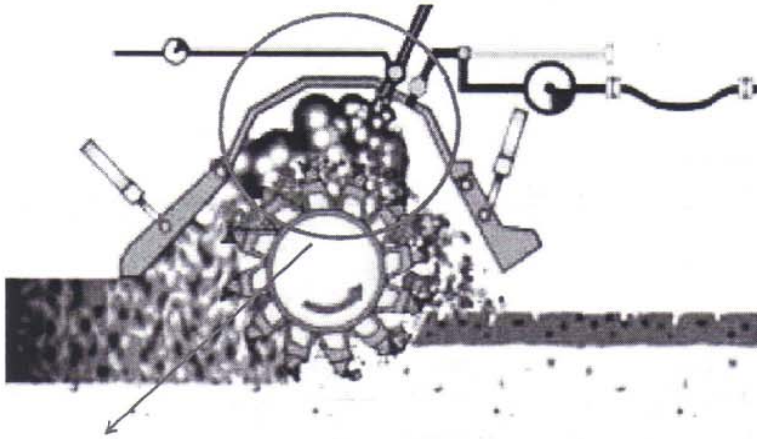
## BITUME SCHIUMATO

Processo di scambio termico per formare la schiuma, a bassa viscosità, che viene

La tecnica del bitume schiumato viene impiegata in larga parte per il riciclaggio in situ delle pavimentazioni flessibili con l'utilizzo di apposite attrezzature

miscelato con gli aggregati

operatore in opera.



Il processo di schiumatura avviene direttamente in situ contestualmente alla fase di fresatura della pavimentazione esistente e susseguente miscelazione col fresato

## BITUME SCHIUMATO

Il bitume schiumato è caratterizzato da due proprietà principali:

➤ **RAPPORTO DI ESPANSIONE**  $\frac{\text{VOLUME FINALE}}{\text{VOLUME INIZIALE}}$

È dato dal rapporto tra il volume massimo della schiuma ed il volume originale del bitume.

Fornisce una misura della viscosità della schiuma e come essa si disperderà nella miscela

➤ **TEMPO DI DIMEZZAMENTO** tempo nominale per dimezzare il volume finale.

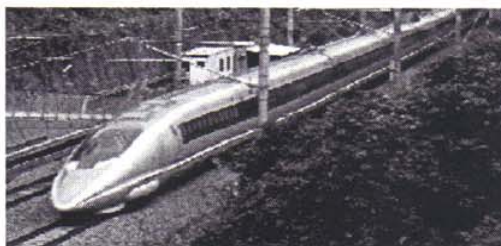
È dato dal tempo (in secondi) durante il quale il volume massimo raggiunto dal bitume nel processo di schiumatura si riduce della metà.

Fornisce una misura della stabilità della schiuma e una indicazione della velocità di collasso della schiuma stessa

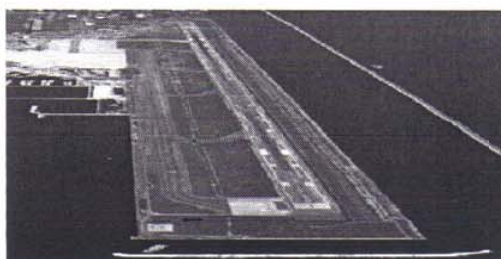




**POLITECNICO DI TORINO**  
**Corso di Laurea Magistrale**  
**in Ingegneria Civile**  
a.a. 2013-14



**Costruzione di Strade, Ferrovie ed Aeroporti (03ALVMX)**



**SOVRASTRUTTURE  
STRADALI E AEROPORTUALI**

Miscele bituminose

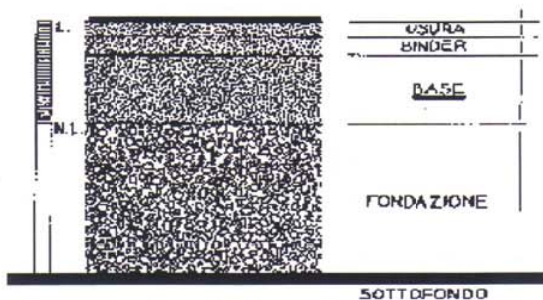
13

## GENERALITA' *PAVIMENTAZIONE FLESSIBILE*

### CONGLOMERATI BITUMINOSI

Sono materiali compositi costituiti da aggregati lapidei, filler e bitume

Vengono impiegati per la realizzazione degli strati legati delle pavimentazioni flessibili



### Pacchetto legato

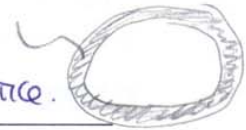
Gli strati differiscono per

- Spessore
- Composizione
- Proprietà volumetriche

*variano le miscele bituminose Saw 3 1/20N con caratteristiche differenti.*

L'affinità è ideata in presenza di H<sub>2</sub>O perché l'H<sub>2</sub>O produce danno. Devo avere che la pellicola di bitume sia integra perché, se è fessurata, rende l'azione

## **AFFINITA' BITUME - AGGREGATI** legante del mastice.



La durabilità di una miscela bituminosa dipende fortemente dalla stabilità del legame tra bitume e granulo

La presenza di acqua può determinare una perdita di adesione, per una azione combinata di tipo meccanico e chimico

### SPOGLIAMENTO

Rottura e asportazione della pellicola bituminosa alla superficie dell'inerte.

Nei casi più gravi ho lo sgonfiamento: l'acqua, a contatto con la miscela, entra in competizione con il bitume ed indebolisce il legame mastice → aggregato, perché tende a scalfare il bitume. Quando non ho la copertura uniforme ho lo spegliamento.

### PROVA DI SPOGLIAMENTO (Prova Empirica)

Procedura di 24h, dopo la quale scarto gli elementi con spogliamento ed esamino le particelle 1x1

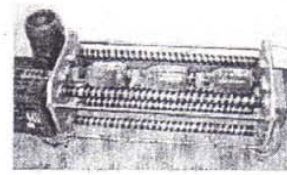
$$\text{GRADO DI SPOGLIAMENTO} = \frac{\text{MASSA SPOGLIATA}}{\text{MASSA TOTALE}}$$

Se GDS = 0, nessuna particella ha subito spogliamento

## **AFFINITA' BITUME - AGGREGATI**

### **Prova di spogliamento (CNR 138/92)**

Si esegue su aggregati di pezzature 6,3-10 mm e 10-15 mm



### PROCEDURA

- campione di aggregati lavati ed essiccati di massa pari a 500 g;
- miscelazione con un contenuto di bitume pari a 3 o 3,5%
- raffreddamento ed essiccazione a T<sub>ambiente</sub>;
- aggiunta di acqua demineralizzata a 25°C per 24h
- stessa procedura viene fatta a 40°C

Si valuta visivamente il grado di spogliamento (in percentuale) raggiunto dopo 24 ore in immersione (6h e 24h)