



# Tecniche costruttive e controlli in itinere delle pavimentazioni stradali ed aeroportuali

*Summer School SIIV  
Aeroporto di Olbia, 15 settembre 2006*

*Prof. M. Crispino, Politecnico di Milano*



## Indice

- Tecniche costruttive delle pavimentazioni
  - Le criticità
  - Le conoscenze acquisite
  - La ricerca
  - Il capitolato
- Controlli in itinere



## Le criticità del tema

### “stesa e compattazione”

- Scarsa importanza attribuita **all'esecuzione** rispetto ad altri fattori (materiali, progetto pavimentazione, etc.)



## Esempi di problemi di esecuzione

- fessure di giunto



...  
dovute al cattivo affiancamento degli strati durante le operazioni di stesa

...

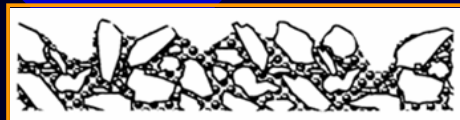
## Esempi di problemi di esecuzione

- sgranamento



...  
dovuto alla stesa a  
temperatura troppo bassa  
o a insufficiente  
costipamento

...



## Esempi di problemi di esecuzione

- avvallamenti



...  
dovuti ai cedimenti del  
sottofondo per  
insufficiente costipamento

...  
dovuti all'evoluzione di una  
erronea profilatura nella  
stesa (problemi e difetti  
della finitrice e/o dei  
dispositivi di livellamento)

## Esempi di problemi di esecuzione

- Dissesti intorno ai chiusini



...  
dovuti a non adeguata  
compattazione

...  
dovuti a profili irregolari  
nella stesa della  
pavimentazione

...

## Approccio tradizionale

STESA



COMPATTAZIONE



Densità



Ci sono altri aspetti da considerare ...

Giunti

Caratteristiche  
Superficiali

Microtessitura

Macrotessitura

Regolarità

Capacità  
drenanti

- Aderenza
- Vibrazioni
- Sollecitazioni
- Smaltimento acque
- Rumore



## Le criticità del tema

### “stesa e compattazione”

- Eccessivo empirismo (necessità di sistematizzare e trasferire conoscenza)





- Eccessiva delega all'operatore per scelte che sono di "progetto"

- Gli operatori spesso non sono **FORMATI** e **ADDESTRATI**





Estratti da "colloqui" di cantiere:

D. "Cosa aspetta per rullare?"

R. "*Sto aspettando che il materiale si raffreddi...*"



D. "Quanti passaggi effettuerà?"

R. "*Mi regolo ...ad occhio, sa.. io ho esperienza...!*"



D. "Perché sta usando la bassa frequenza?"

R. "*Bip...!!!!...!!!!.Bip !!!!!!!!!!!!!..Bip...!!!!!*"





## Le criticità del tema

### “stesa e compattazione”

- Le tecnologie disponibili sono avanzate ma necessitano di **manutenzione**

**e di manutenzione se ne fa pochissima**



... forse non tutti sanno che..

↳ La compattazione inizia con la STESA: una finitrice idonea ed in buono stato di manutenzione infatti è in grado di garantire almeno l'**80%** della compattazione finale!



tamper usato



tamper nuovo



E' fondamentale la corretta manutenzione di tutte le parti componenti delle macchine



- Nei casi migliori il Committente certifica i materiali, le cave e gli impianti. **E le macchine??? Sono idonee ed in buono stato?**



Perché parlare del tema  
“stesa e compattazione”?

Perché i risultati della stesa e compattazione  
sono spesso

**INCERTI e INSODDISFACENTI**



## Perché parlare del tema

### “stesa e compattazione”?

Perché la situazione attuale **non è accettabile:**

- la “qualità globale” non può prescindere da un’esecuzione affidabile



Autostrada DUBAI – ABU DHABI (E.A.U.)

**Esempio di pavimentazione realizzata in modo PERFETTO!**





## Perché parlare del tema

### “stesa e compattazione”?

- il ricorso all'utilizzo di **materiali ad elevate prestazioni richiede** tecniche di stesa e compattazione che non ne compromettano l'efficacia ma che al contrario garantiscano **l'espletamento delle loro potenziali prestazioni**



## Perché parlare del tema

### “stesa e compattazione”?

- una stesa e una compattazione **inadeguati** sono in grado di **compromettere** anche completamente le prestazioni della sovrastruttura ipotizzate in progetto, e quindi tutti i risultati della **ricerca** e degli **studi preliminari su miscela e pavimentazione**.



# La compattazione

↳ La compattazione **dovrebbe** articolarsi in tre fasi:

- ➔ Compattazione iniziale
- ➔ Compattazione principale
- ➔ Compattazione finale



# La stesa e la compattazione

COMPATTAZIONE INIZIALE

Obiettivi:

- ↳ Evitare di generare strappi trasversali sulla superficie della stesa di miscele particolarmente calde e soffici che tendono altrimenti a subire scorrimenti eccessivi
- ↳ Rendere la miscela più stabile prima della compattazione principale



➔ Esempio: eseguire 2 passaggi statici a velocità ridotta (3-4 km/h)



# La stesa e la compattazione

## COMPATTAZIONE PRINCIPALE

### Obiettivo:

- ↳ Conferire alla miscela il previsto grado di addensamento



La compattazione principale rappresenta la fase fondamentale che deve essere preliminarmente definita (n° di passate, ampiezza vibrazione, frequenza vibrazione, etc.)



# La stesa e la compattazione

## COMPATTAZIONE FINALE

### Obiettivi:

- ↳ Regularizzare la superficie della stesa rimuovendo le tracce del passaggio del rullo principale
- ↳ Conferire alla pavimentazione le caratteristiche di tessitura superficiale desiderate

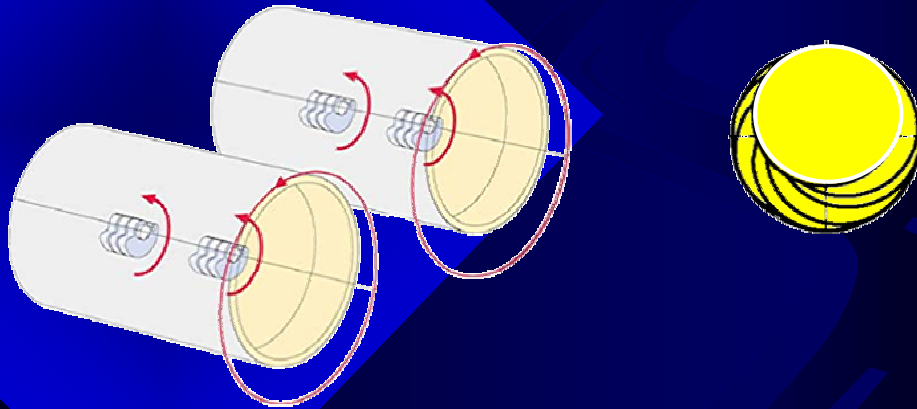


Esempio: eseguire 2 passaggi statici a velocità di 8 km/h



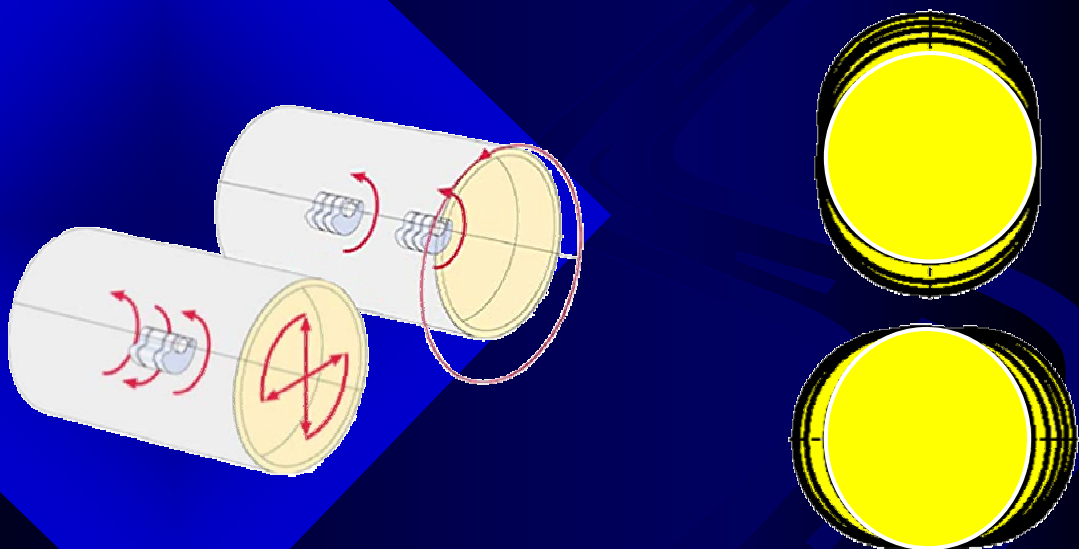
# TIPI DI VIBRAZIONE

## Vibrazione Circolare



# TIPI DI VIBRAZIONE

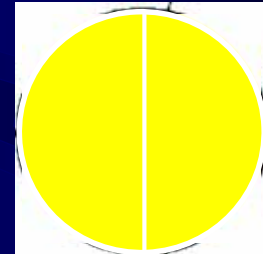
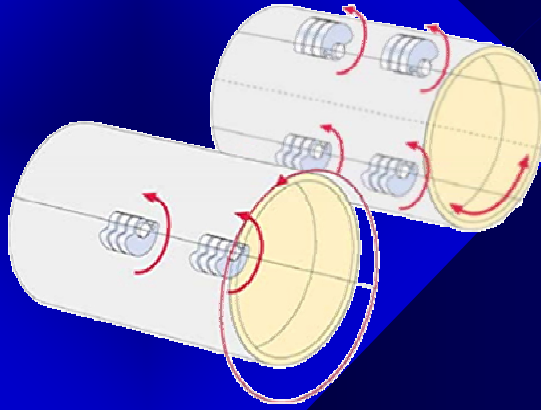
## Vibrazione Direzionale





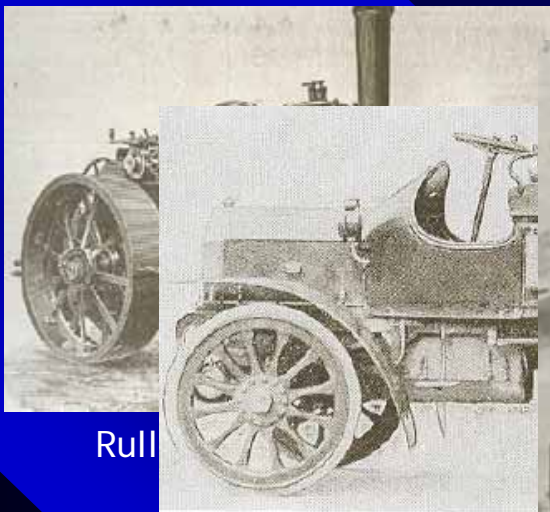
# TIPI DI VIBRAZIONE

## Oscillazione



## La ricerca

inizi del '900 ...



Rulli

Spazzolatrice-a



Bonza per il catrame

L'EVOLUZIONE





# La ricerca

L'EVOLUZIONE

... Oggi ...



Finitrice

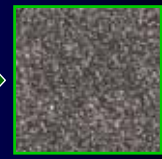


Le ricerche in corso

- ◆ Maggiore attenzione alle problematiche dell' ambito urbano (es. vibrazioni, ingombri, piccole aree di sosta, marciapiedi ecc.)
- ◆ Ottimizzazione delle tecniche esecutive per interventi che interessano sottoservizi
- ◆ Analisi delle criticità che insorgono negli interventi che richiedono stese "a mano"



- Definizione di una correlazione tra **operazioni di stesa e compattazione** e **caratteristiche superficiali** ottenute a fine lavorazione



- Individuazione delle tecniche più idonee per la lavorazione di materiali particolari (es. asfalti drenanti, basi ad alto modulo ecc.)



- Identificazione delle maggiori criticità delle macchine e loro influenza sulla qualità della lavorazione



## Prospettive

Maggiore conoscenza dei fenomeni che intervengono nelle fasi esecutive



Scelta scrupolosa dei mezzi che possiedono i requisiti adatti per garantire il raggiungimento dei risultati voluti



Imposizione di controlli sulle componenti meccaniche dei mezzi d'opera e verifica del loro stato di manutenzione



Integrazione dei controlli prestazionali di cantiere con nuove verifiche sulle caratteristiche superficiali della pavimentazione ottenute a fine lavorazione, legando il risultato anche alla tecnica di stesa





# Prospettive

L'EVOLUZIONE

## ... Domani

- ↳ Computer di bordo che evidenzia le aree non ancora compattate
- ↳ Utilizzo di finitrici con sistema di navigazione GPS



# Prospettive

L'EVOLUZIONE

Maggiore attenzione:

- alla salute ed alla sicurezza degli operatori
- all'ambiente



# La ricerca

## La collaborazione tra Politecnico di Milano e International High Comp Center (IHCC - Sweden)

- ↳ Ottimizzazione delle tecniche di stesa del subballast ferroviario
- ↳ Influenza della temperatura sulla compattazione dei conglomerati bituminosi
- ↳ Influenza della compattazione sulla tessitura superficiale
- ↳ .....



# La ricerca

## Il campo prova

SUBBALLAST



10 t  
8.4 t  
12 t  
12.4 t

di  
zione

di  
zione

CC232

CP271

CC232



# La ricerca

## I risultati

(Vuoti di capitolato: 3 ÷ 6%)

SUBBALLAST

AREA	ROLLER	N° PAS	SUB-AREA	PASSEGGI PER ROLLER	LAYER THICKNESS [mm]	CORES	BITUMEN [%]	VOIDS [%]	DENS.	MEDIUM DENSITY PER SUB-AREA
1	SOLO COMBINATO	4	S.A. 1.4	1 SV.COMB + 2 CV.COMB + 1 L.COMB	135	S 1.3	4.17	7.26	2.312	2,315
				1 SV.COMB + 2 CV.COMB + 1 L.COMB	141	S 1.12	4.51	6.49	2.32	
				1 SV.COMB + 2 CV.COMB + 1 L.COMB	147	S 1.6	4.53	6.74	2.314	
	COMBINATO + TUTTO FERRO (pesante)	6	S.A. 1.6	1 SV.COMB + 2 CV.COMB + 1 L.COMB + 2 L.TF(pesante)	128	S 1.1	4.24	6.04	2.34	2,337
				1 SV.COMB + 2 CV.COMB + 1 L.COMB + 2 L.TF(pesante)	130	S 1.7	4.57	5.98	2.331	
				1 SV.COMB + 2 CV.COMB + 1 L.COMB + 2 L.TF(pesante)	135	S 1.10	4.35	5.94	2.339	
		8	S.A. 1.8	1 SV.COMB + 2 CV.COMB + 1 L.COMB + 4 L.TF(pesante)	138	S 1.11	3.91	6.02	2.351	2,351
				1 SV.COMB + 2 CV.COMB + 1 L.COMB + 4 L.TF(pesante)	138	S 1.4	4.46	4.84	2.363	
				1 SV.COMB + 2 CV.COMB + 1 L.COMB + 4 L.TF(pesante)	135	S 1.8	4.29	6.03	2.339	
	12	S.A. 1.12	2 SV.COMB + 4 CV.COMB + 2 L.COMB + 4 L.TF(pesante)	140	S 1.5	4.84	4.07	2.37	2,367	
			2 SV.COMB + 4 CV.COMB + 2 L.COMB + 4 L.TF(pesante)	145	S 1.9	4.76	3.8	2.379		
			2 SV.COMB + 4 CV.COMB + 2 L.COMB + 4 L.TF(pesante)	127	S 1.2	4.27	5.52	2.352		
2	TUTTO-FERRO (pesante)	4	S.A. 2.4	2 SV.TF(pesante) + 1 CV.TF(pesante) + 1 L.TF(pesante)	150	S 2.6	4.66	5.99	2.328	2,324
				2 SV.TF(pesante) + 1 CV.TF(pesante) + 1 L.TF(pesante)	140	S 2.2	4.32	6.47	2.327	
				2 SV.TF(pesante) + 1 CV.TF(pesante) + 1 L.TF(pesante)	140	S 2.4	4.47	6.67	2.317	
	8	S.A. 2.8	2 SV.TF(pesante) + 1 CV.TF(pesante) + 5 L.TF(pesante)	125	S 2.3	4.48	4.81	2.363	2,367	
			2 SV.TF(pesante) + 1 CV.TF(pesante) + 5 L.TF(pesante)	135	S 2.5	4.45	5.43	2.349		
			2 SV.TF(pesante) + 1 CV.TF(pesante) + 5 L.TF(pesante)	129	S 2.1	5.01	3.04	2.39		
3	TUTTO-FERRO (normale)	6	S.A. 3.6	2 SV.TF(normale) + 1 CV.TF(normale) + 3 L.TF(normale)	135	S 3.1	4.66	5.42	2.342	2,342
				2 SV.TF(normale) + 1 CV.TF(normale) + 3 L.TF(normale)	131	S 3.3	4.34	5.82	2.342	
				2 SV.TF(normale) + 1 CV.TF(normale) + 3 L.TF(normale)	130	S 3.4	4	6.3	2.342	
	10	S.A. 3.10	3 SV.TF(normale) + 2 CV.TF(normale) + 5 L.TF(normale)	140	S 3.2	4.31	4.69	2.372	2,37	
			3 SV.TF(normale) + 2 CV.TF(normale) + 5 L.TF(normale)	150	S 3.5	4.75	4.25	2.368		
			3 SV.TF(normale) + 2 CV.TF(normale) + 5 L.TF(normale)	142	S 4.2	4.31	6.96	2.315		
4	TUTTO-GOMMA + TUTTO-FERRO (normale)	4	S.A. 4.4	2 TG + 1 CV.TF(normale) + 1 L.TF(normale)	137	S 4.3	4.22	7.66	2.301	2,31
				2 TG + 1 CV.TF(normale) + 1 L.TF(normale)	135	S 4.1	4.41	6.91	2.313	
				2 TG + 1 CV.TF(normale) + 1 L.TF(normale)	140	S 4.4	4.19	6.15	2.339	



# SHANGHAI



CINA



HIGH SPEED RAILWAYS CONSTRUCTION STANDARDS  
高速铁路建设标准



上海

• Shanghai - 15<sup>th</sup>  
October 2005

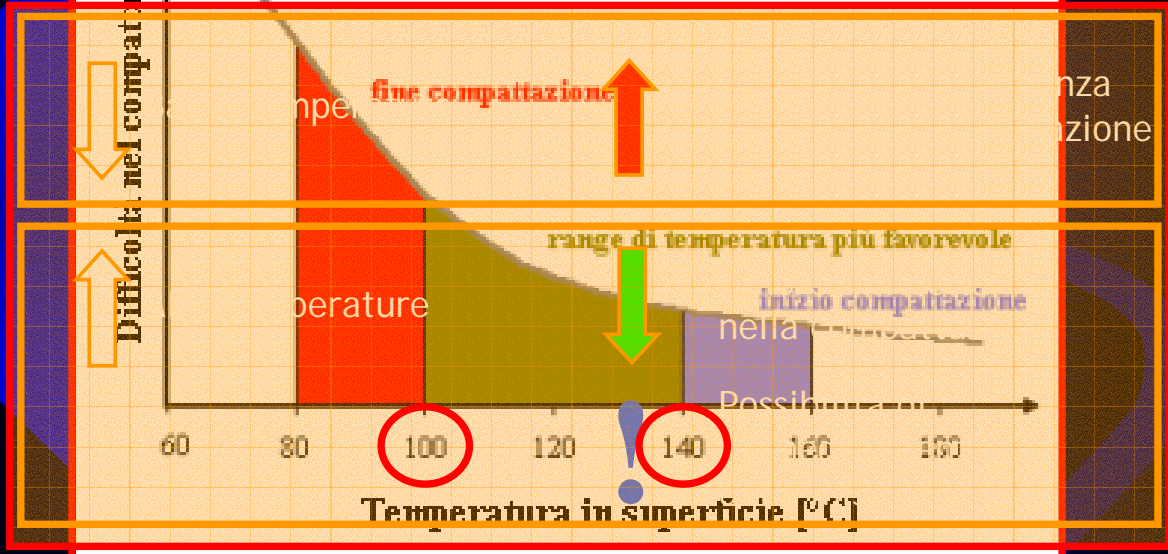




# La ricerca

TEMPERATURA VS COMPATTAZIONE

La temperatura della miscela influenza il risultato della compattazione



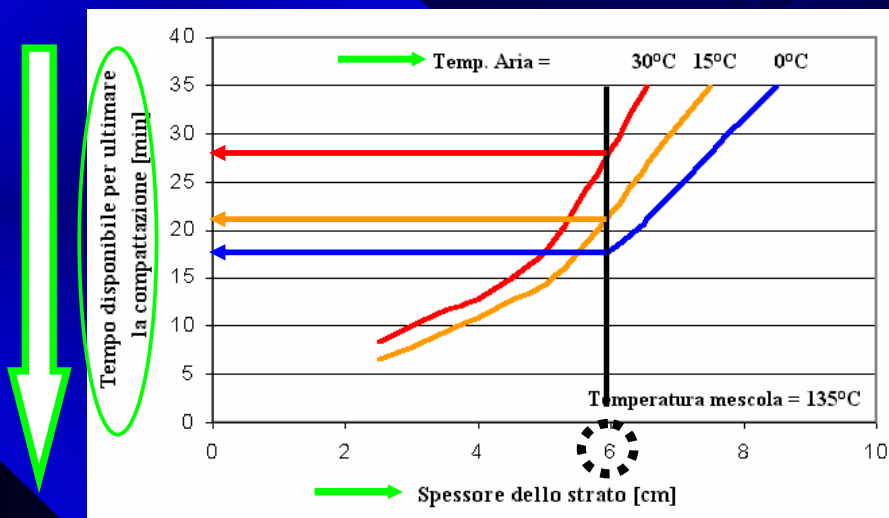
Necessità di conoscere i valori ottimali di temperatura



# La ricerca

TEMPERATURA VS COMPATTAZIONE

Il tempo di raffreddamento dipende anche dalla temperatura dell'aria



Per evitare tempi troppo ridotti



E' CONSIGLIABILE COSTIPARE OLTRE I 15°C OPPURE USARE UN N° MAGGIORE DI RULLI



# "Guida pratica alla compattazione"

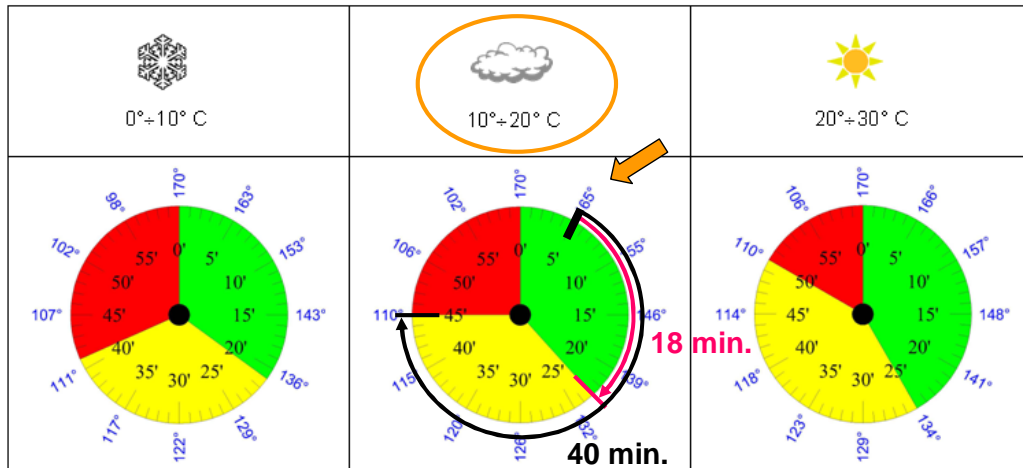
## Schede Tecniche

suddivise per tipologia di materiale

Spessore: 80 mm

T aria = 15° C

T stesa = 165° C



## Temperatura di costipamento

- L'intervallo di temperature di costipamento corretto dipende dalle caratteristiche reologiche del legante.
- Sono dati che il progettista o l'impresa DEVONO conoscere.



# Tessitura vs Compattazione



SVEZIA



- Collaborazione con il Dynapac "International High Comp Center"

- Data sharing



Elaborazione Basi Dati

Area	Passes	Area	Passes	Area	Passes	Area	Passes
Compaction 11 (DYNAPAC)	10	Compaction 12 (DYNAPAC)	10	Compaction 13 (DYNAPAC)	10	Compaction 14 (DYNAPAC)	10
Grading 01 (DYNAPAC)	10	Grading 02 (DYNAPAC)	10	Grading 03 (DYNAPAC)	10	Grading 04 (DYNAPAC)	10
Grading 05 (DYNAPAC)	10	Grading 06 (DYNAPAC)	10	Grading 07 (DYNAPAC)	10	Grading 08 (DYNAPAC)	10
Grading 09 (DYNAPAC)	10	Grading 10 (DYNAPAC)	10	Grading 11 (DYNAPAC)	10	Grading 12 (DYNAPAC)	10



Introduzione di una nuova variabile:

Carico Statico Totale Transitato (Total Static Load)

$$TSL = \sum_{i=1}^n (SLL_i^f + SLL_i^r)$$

- TSL = Total Static Load
- n = number of passes;
- SLL<sup>f</sup> = Static Linear Load (front drum);
- SLL<sup>r</sup> = Static Linear Load (rear drum).

Somma dei carichi statici effettivamente trasmessi alla pavimentazione

Forma Generale con Vibrazione

$$TSL = \sum_{i=1}^n (k_i^f \cdot SLL_i^f + k_i^r \cdot SLL_i^r)$$

Somma dei carichi effettivamente trasmessi alla pavimentazione considerando l'effetto dinamico della vibrazione

*k<sub>i</sub>* = vibratory coefficient for the *i*-esima pass (*k*= 1 in case of a static pass).



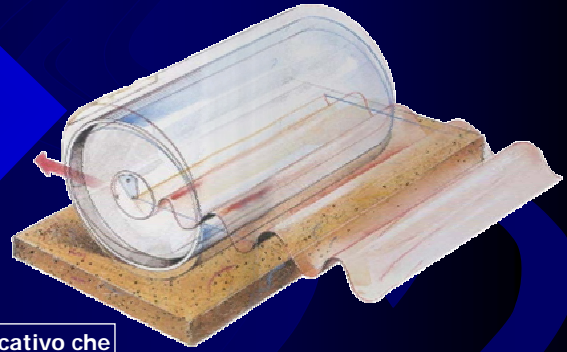


# RICERCA

Grado di Compattazione  
Altezza in sabbia



n° passaggi per diversi modelli  
di rulli e vibrazioni



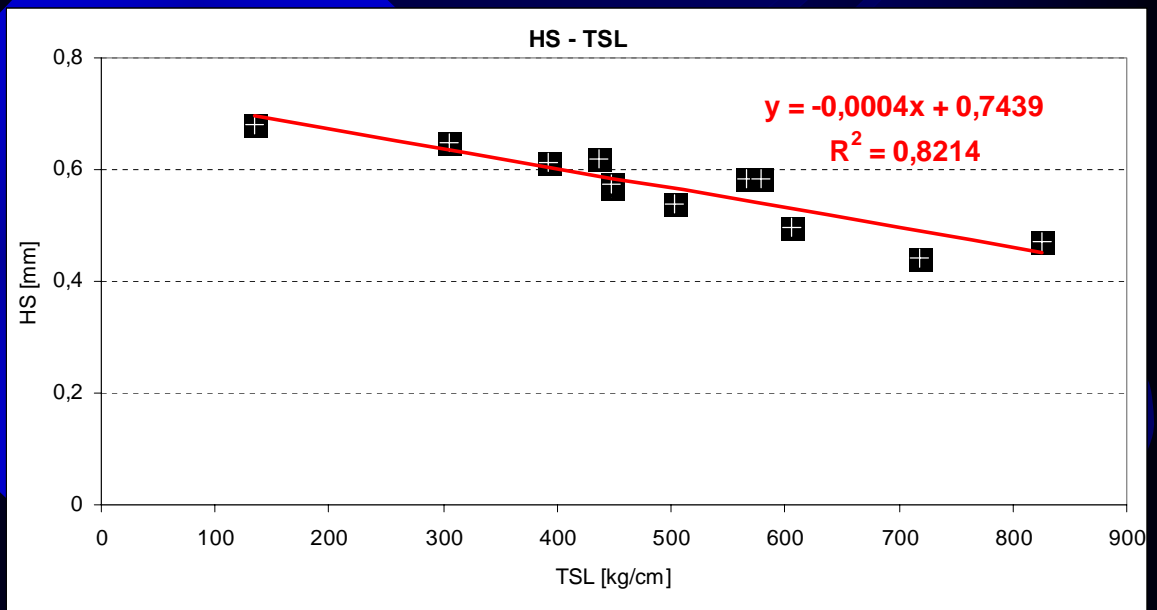
Parametro significativo che  
tiene conto del carico  
effettivamente trasmesso  
alla pavimentazione

$$SLL = \frac{\text{Peso sull'asse} \text{ [kg]}}{\text{Larghezza del tamburo} \text{ [cm]}}$$



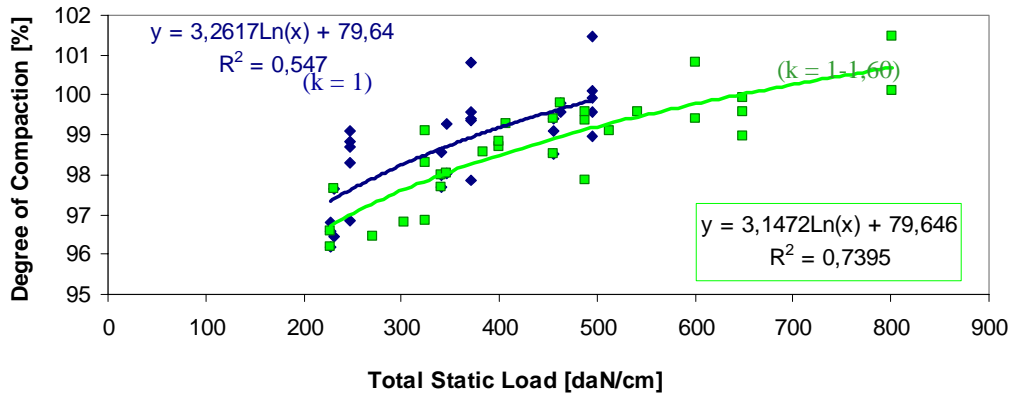
## Compattazione - caratteristiche di tessitura superficiale (altezza in sabbia HS)

TESSITURA VS COMPATTAZIONE





### Asphalt Base, 70mm Total Static Load - Degree of Compaction



Risultati elaborazione su 120 valori di DoC, ciascuno ottenuto dalla media di 9 misure (carote).

Compattazione eseguita con 4 differenti modelli di rulli (2 con vibr. circolare, 1 direzionale, 1 oscillazione)

Stone Mastic Asphalt – 40 mm:  $DoC = 2,41 \cdot \ln(1 + TSL) + 85$

Asphalt Base – 45 mm:  $DoC = 2,87 \cdot \ln(1 + TSL) + 82$

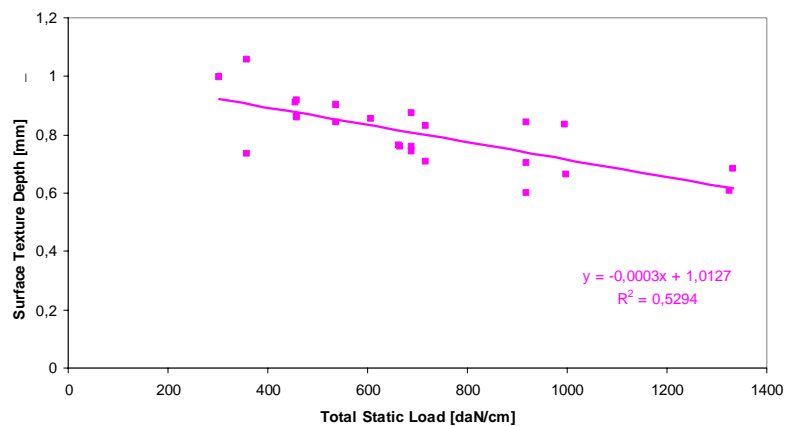
Asphalt Base – 70 mm:  $DoC = 3,14 \cdot \ln(1 + TSL) + 80$

$DoC \cong 3 \cdot \ln(1 + TSL) + 80$

Precompattazione finitrice (~80%)



### Asphalt Base, 45mm Total Static Load - Surface Texture Depth



Risultati elaborazione su 120 valori di DoC, ciascuno ottenuto dalla media di 9 misure.

Compattazione eseguita con 4 differenti modelli di rulli (2 con vibr. circolare, 1 direzionale, 1 oscillazione)

Stone Mastic Asphalt – 40 mm:  $HS = -0,0005 \cdot TSL + 1,91$

Asphalt Base – 45 mm:  $HS = -0,0003 \cdot TSL + 1,01$

Asphalt Base – 70 mm:  $HS = -0,0004 \cdot TSL + 1,08$



# Strumenti di supporto



Supporto  
INFORMATICO



Supporto  
CARTACEO



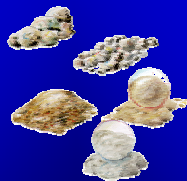
Software **CompBase**® e  
**PaveComp**®



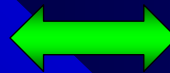
*Guida pratica alla compattazione*



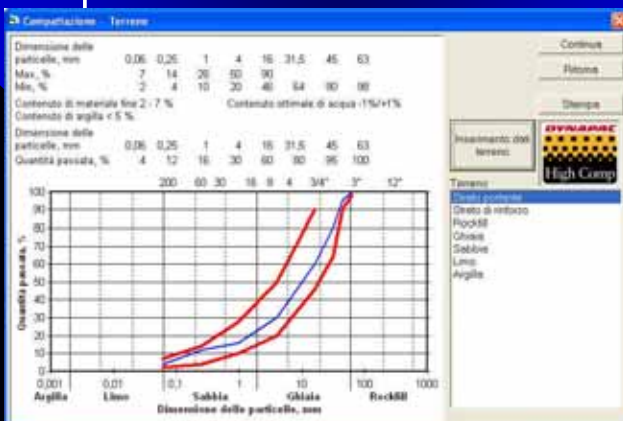
# CompBase ©



Scelta del materiale  
da costipare

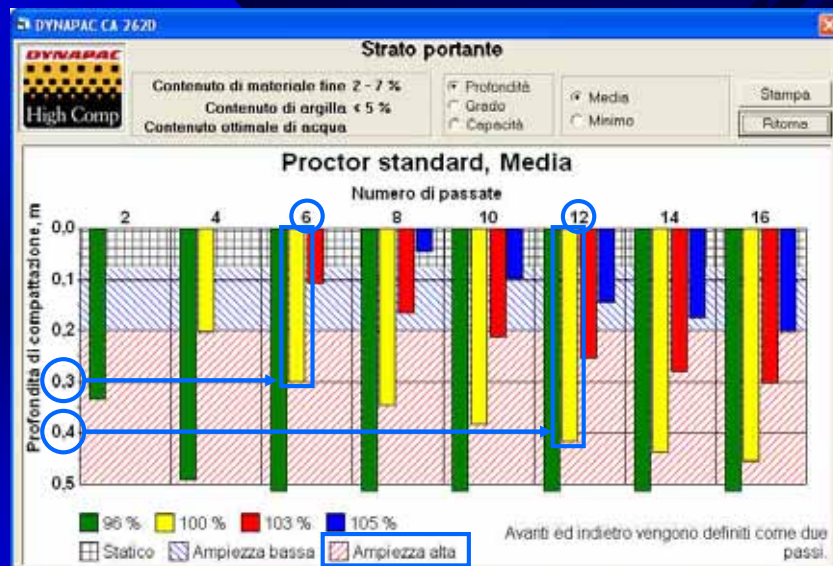


Scelta della macchina per  
l'esecuzione del lavoro





# CompBase ©



- Determinazione del numero di passaggi e delle impostazioni di vibrazione del mezzo costipante
- Verifica preliminare del grado di costipamento



# PaveComp ©



STESA



COMPATTAZIONE

RISULTATO  
FINALE



# PaveComp ©

## RISULTATO

The screenshot displays the 'PaveComp' software interface with the following data:

Unità motrice	Binario	Comp. Iniziale	Comp. Principale	Finestra
F161-6V 140 - 140 mm 3.50 - 3.50 m 2.8 - 2.8 m/min	VR950T(V) Frequenza min. tempo: 10-10 Hz / 630-630 upm Frequ. reciproci tempo: 16-16 Hz / 945-945 upm	1 * CC 232 2 passaggi per striscia 4 km/h 33 - 100 m	1 * CC 452 HF 4 passaggi per striscia 5 km/h 3 strisce 54 - 100 m 0.7 / 48 mm/Hz	1 * CP 201 2 passaggi per striscia 8 km/h 3 strisce 113 m

Additional parameters shown in the interface:

- Tempo compattazione: 34 minuti
- Tempo di compattazione (Marshall): 99 e 1%
- Congl. bit per striscia di bit: 70 - 100
- Penetrazione: Nessuna modifica
- Modifica legante: 6.9 e 2%
- Diametro nominale inerti max. mm: 4.3 - 5.2%
- Volume dei vuoti: 99 e 1%
- N. Legante (Stima?): 4.3 - 5.2%
- Grado di costipamento (Marshall): 99 e 1%



# La "Guida pratica alla compattazione" Regole Generali

per la corretta esecuzione delle procedure di costipamento

The collage displays several pages from the manual, including:

- 5. FASI DEL COSTIPAMENTO**
- 6. CONSIGLI PER UNA CORRETTA PROCEDURA DEL COSTIPAMENTO**
- Instructions on machine speed: "Mantenere una velocità di 4 km/h... Una velocità superiore a quella... inevitabilmente la durata della..."
- Instructions on material placement: "Non effettuare il riporto sul... La corda del rullo... a... e... il rullo solo in..."
- Instructions on joint closure: "Iniziare a rullare dal giunto... In questo modo si garantisce la chiusura del giunto e la regolarità della superficie..."
- Instructions on roller direction: "Non deviare sul materiale... Dopo movimento delle due... superficie del materiale viene... fissaggio... il cambio di direzione..."
- Instructions on roller overlap: "Non sovrapporre il rullo a... C'è un'area di sovrapposizione..."

## Schede Tecniche

suddivise per tipologia di materiale

**CONGLOMERATO BITUMINOSO PER STRATO DI BASE**

**Descrizione**

Il conglomerato bituminoso per strati di base (a aggregati lapidei, bitume tradizionale o modificato) renderla adatta all'impiego negli strati di base.

**Fuso Granulometrico**

**2 COMPATTAZIONE PRINCIPALE**

Uso e scopo

La compattazione principale ha lo scopo di conferire alla miscela l'assetto definitivo.

**CC422HF**

Spessore	Dim. max. inerti	Vibrazione	An. piezza	Frequenza	n° di passaggi	Velocità max.	Produttività
50	12	BASSA	0,28	62	4	5	1260
50	17	BASSA	0,28	62	4	5	1260
60	23	BASSA	0,28	62	4	5	1260
70	12	ALTA	0,70	49	4	5	1260
80	33	BASSA	0,28	62	4	5	1260
90	17	ALTA	0,70	49	4	5	1260
120	46	BASSA	0,28	62	4	5	1260
130	23	ALTA	0,70	49	4	5	1260
175 - 190	12	ALTA	0,70	49	4	4	1008
175 - 190	17-46	ALTA	0,70	49	4	5	1260
175 - 190	64	BASSA	0,28	62	4	5	1260

**4 TEMPI DI RAFFERDAMENTO**

(vedi Cap. 2 - Tab. 5)

Spessore: 50 mm

Spessore: 80 mm

## Schede Tecniche

suddivise per tipologia di materiale

**CC422HF**

Spessore	Dim. max. inerti	Vibrazione	An. piezza		Frequenza	n° di passaggi	Velocità max.	Produttività
			A.B	[m.m]				
50	12	BASSA	0,28	62	4	5	1260	
50	17	BASSA	0,28	62	4	5	1260	
60	23	BASSA	0,28	62	4	5	1260	
70	12	ALTA	0,70	49	4	5	1260	
80	33	BASSA	0,28	62	4	5	1260	
90	17	ALTA	0,70	49	4	5	1260	
120	46	BASSA	0,28	62	4	5	1260	
130	23	ALTA	0,70	49	4	5	1260	
175 - 190	12	ALTA	0,70	49	4	4	1008	
175 - 190	17-46	ALTA	0,70	49	4	5	1260	
175 - 190	64	BASSA	0,28	62	4	5	1260	

Conglomerato bituminoso per strato di base



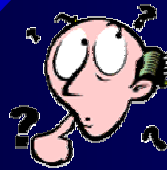
# Le macchine ed il capitolato

Una frase tipica dei capitolati è la seguente:

Per lo strato di usura deve essere utilizzato un rullo tandem a ruote metalliche del peso massimo di 15t.



La specifica è "troppo" dettagliata se il capitolato è prestazionale



La specifica è insufficiente se il capitolato è prescrizionale



# La domanda...

In un rapporto contrattuale di tipo **prestazionale**, il committente ha il diritto/dovere di controllare la tipologia e la qualità delle macchine di stesa e compattazione?

Non tutte le prove di controllo danno risultati in tempo reale

Le macchine non idonee porteranno a difetti di realizzazione scoperti a lavori ultimati



Il committente è interessato ad un lavoro ben fatto non a imporre penali!



Il committente **deve verificare** la tipologia e qualità delle macchine utilizzate, anche in un contesto **prestazionale**

**In prospettiva: studio di prequalifica "integrato"**





Progettare l'esecuzione (definire le macchine da utilizzare e le modalità esecutive)

Peso del rullo

n° di passate

Ampiezza e frequenza della vibrazione

## Tipi di controllo in itinere

- In sito:
  - Temperature (alla finitrice e FINO ALLA ULTIMAZIONE DELLA COMPATTAZIONE)
  - Spessori (Pre e post compattazione)
  - Densità (strumenti affidabili?)
  - Portanza
- In laboratorio (prove "classiche"):
  - Composizione e volumetria (% di legante, Granulometria, vuoti, densità)
  - Caratteristiche dei materiali di base (leg. bituminoso ed inerti)
  - Caratteristiche prestazionali della miscela



## • PROVE

<i>Prove in sito</i>	<i>Prelievi in sito</i>	<i>Prove in laboratorio</i>
Prova di carico su piastra	Sottofondo	Classificazione HRB Prova CBR Equivalente in sabbia
Prova di densità e umidità	Sottofondo bonificato	Classificazione HRB Prova CBR Equivalente in sabbia
Misura di spandimento per la mano d'attacco	Misto granulare stabilizzato	Classificazione HRB Equivalente in sabbia
Misura spessori	Misto cementato	Analisi granulometrica Resistenza a compressione su provini CBR Perdita in peso Los Angeles
Controllo modalità di costipamento	Conglomerato bituminoso (da finitrice)	Equivalente in sabbia Analisi granulometrica degli inerti
Misura temperature di stesa		Stabilità Marshall
Misura delle caratteristiche superficiali (Skid Test) - Microrugosità		Scorrimento Marshall
Prova altezza in sabbia - Macrorugosità	Bitume (da impianto)	Rigidità Marshall Peso di volume dei campioni Marshall Calcolo % vuoti Calcolo % bitume
Rilievo profilometrico		Prova Brasileira di trazione indiretta Penetrazione a 25 °C
Prova deflettometrica HWD	Inerti (da impianto)	Palla-Anello Rottura Frass
	Carotaggi	Los Angeles % Bitume riferita agli inerti % Vuoti residui Misura spessori



## Alcuni riferimenti per le prove

- Aree di riferimento su cui eseguire prelievi (qualche migliaio di mq...)
- Carotaggi: almeno due carote vicine
- Per prelievi: doppia campionatura di cui una di scorta (almeno 15 kg a prelievo)

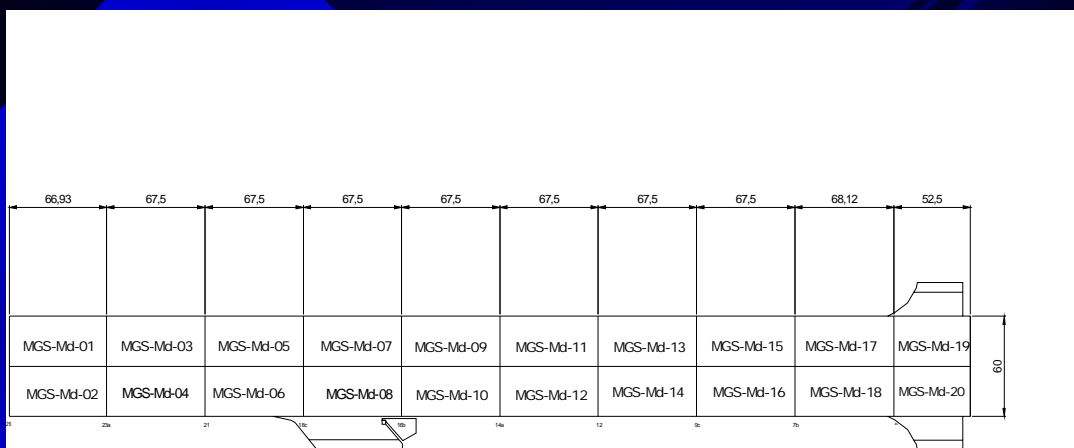


## Suddivisione delle aree di prova in base allo strato

Strato della pavimentazione	Frequenza di prova
Sottofondo	1prova/1500mq
Fondazione in misto granulare	1prova/2000mq
Fondazione in misto cementato	1prova/2000mq
Conglomerati bituminosi	1prova/2500mq



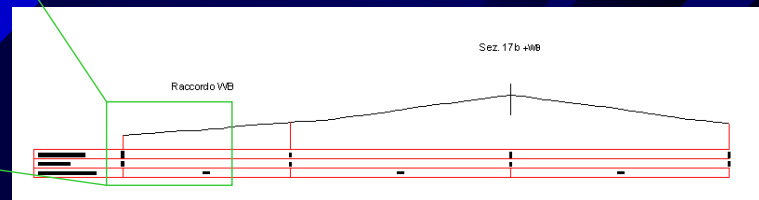
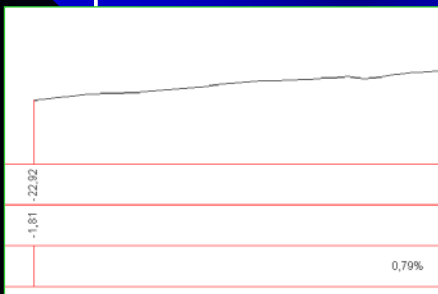
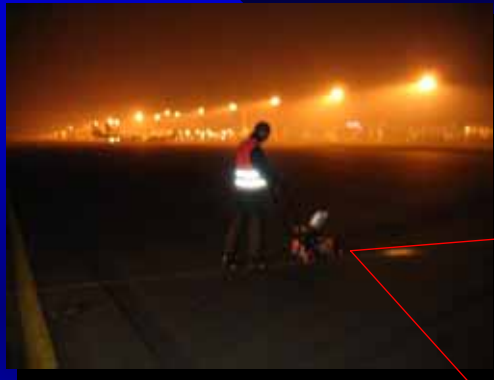
## ESEMPIO DI RETICOLO DI RIFERIMENTO



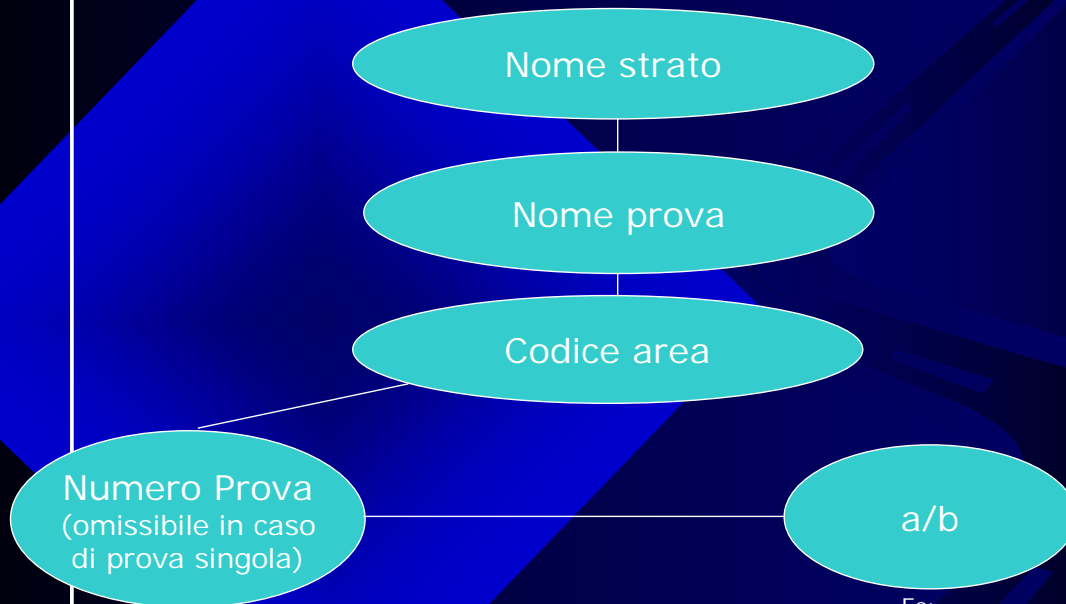
Misto granulare stabilizzato  
Prova di carico su piastra: determinazione Md  
Frequenza: 1 prova ogni 2025 mq



## Profili



**CODIFICA:** la metodologia di campionamento è basata su un sistema di codifica necessario alla identificazione dello strato da analizzare, del tipo di prova e dell'area di misura



Es:  
**S-Md-3**  
carico su piastra  
su sottofondo  
nell'area numero 3

Es:  
**S-HRB-4-a**  
**S-HRB-4-b**  
sacchi per HRB  
di sottofondo  
dall'area 4  
a - da testare  
b - di riserva



# I controlli: punti aperti

- Confronto tra grandezze misurate e grandezze di progetto
- Significatività delle misure e procedure di elaborazione



# Conclusioni

- ↳ Nell'esecuzione dei lavori di stesa e compattazione non deve esserci empirismo perché l'efficacia della stesa e della compattazione del conglomerato bituminoso risponde a fenomeni fisici:
  - Viscosità
  - Temperatura
  - Pesi
  - Frequenze
  - etc.
- ↳ Le scelte inerenti la stesa e la compattazione non devono essere demandate all'operatore della finitrice e/o del rullo.
- ↳ La stesa e la compattazione si progettano:
  - Distanza dal cantiere
  - Tempi di raffreddamento
  - Carico Statico Lineare
  - Ampiezza e Frequenza di Vibrazione
  - etc.



# Conclusioni

↳ La macchine devono essere mantenute



p.e. una finitrice non idonea darà luogo a problemi che il rullo non può recuperare

↳ La qualità dei lavori non può e non deve prescindere dalla scelta di idonee tecniche costruttive



La qualità dei materiali (non sempre eccellente ...) non è sufficiente a garantire la corretta riuscita dei lavori



## Qualcosa sta cambiando ...

- **I controlli** saranno sempre più mirati e da ciò conseguirà la necessità di adoperare tecniche di stesa specifiche (abbandonare il concetto che tutto va bene per tutto).
- **I "piccoli" lavori** (es.: sottoservizi) in ambito urbano sono sotto la lente del microscopio. Le amministrazioni adotteranno criteri di controllo sempre più rigorosi. Valorizzare i compattatori leggeri.
- **L'efficienza** delle macchine sarà oggetto di controlli: spendere in manutenzione.
- **Diffondere** le conoscenze tecniche perché le Imprese diventino sempre più consapevoli del ruolo delle macchine ai fini della qualità finale dell'opera.
- **Cosa fare per le tecnologie** innovative (rigenerazione a freddo, conglomerati con fibre, etc.)



In conclusione l' approccio corretto è ...

**"Progettazione"  
delle tecniche di  
esecuzione dei  
LAVORI**

Tipologia di intervento  
(risultati da conseguire)



Scelta delle macchine



Definizione del tipo e del  
numero di operazioni

Per garantire il  
raggiungimento delle  
prestazioni previste è  
indispensabile progettare  
l'esecuzione



Grazie dell'attenzione!

... e ricordiamo:

L'importante è compattare...  
un modo lo si trova sempre!

