



Facoltà di Ingegneria

Dipartimento di Ingegneria dei Trasporti "Luigi Tocchetti"

CRITERI PROGETTUALI DELLE STRADE

*Seminario di preparazione all'Esame di Stato
Per l'Abilitazione all'esercizio della professione*

Prof. Ing. Francesco Saverio Capaldo

ex DIT Dipartimento di Ingegneria dei Trasporti
ora DICEA Dipartimento di Ingegneria Civile ed Ambientale

Napoli. 10.12.2012



CRITERI PROGETTUALI DELLE STRADE



SCHEMA

Le strade e due aspetti di base:

✿ Struttura:

✿ Materiali

- ⊕ Terre
- ⊕ Inerti
- ⊕ Leganti
- ⊕ Conglomerati

✿ Controlli geotecnici

✿ Geometria:

✿ Asse

- ⊕ Planimetria
- ⊕ Altimetria
- ⊕ Coordinamento
- ⊕ Verifiche funzionali

✿ Intersezioni

- ⊕ A raso
- ⊕ Sfalsate
altimetricamente



CRITERI PROGETTUALI DELLE STRADE

STRUTTURA



MATERIALI

- ❖ I materiali, le terre, impiegati nella realizzazione della sovrastruttura, nonché la loro provenienza dovranno soddisfare le prescrizioni riportate nelle Norme Tecniche del Capitolato Speciale d'Appalto.
- ❖ La DL potrà ordinare ulteriori prove su detti materiali presso Laboratori Ufficiali.
- ❖ In cantiere dovranno essere attrezzati dei laboratori, con personale qualificato, nei quali eseguire le prove di routine per l'identificazione delle caratteristiche richieste ai materiali.
- ❖ **L'approvazione della DL circa i materiali, le attrezzature, i metodi di lavorazione, non solleva l'Impresa dalla responsabilità circa la riuscita del lavoro.**

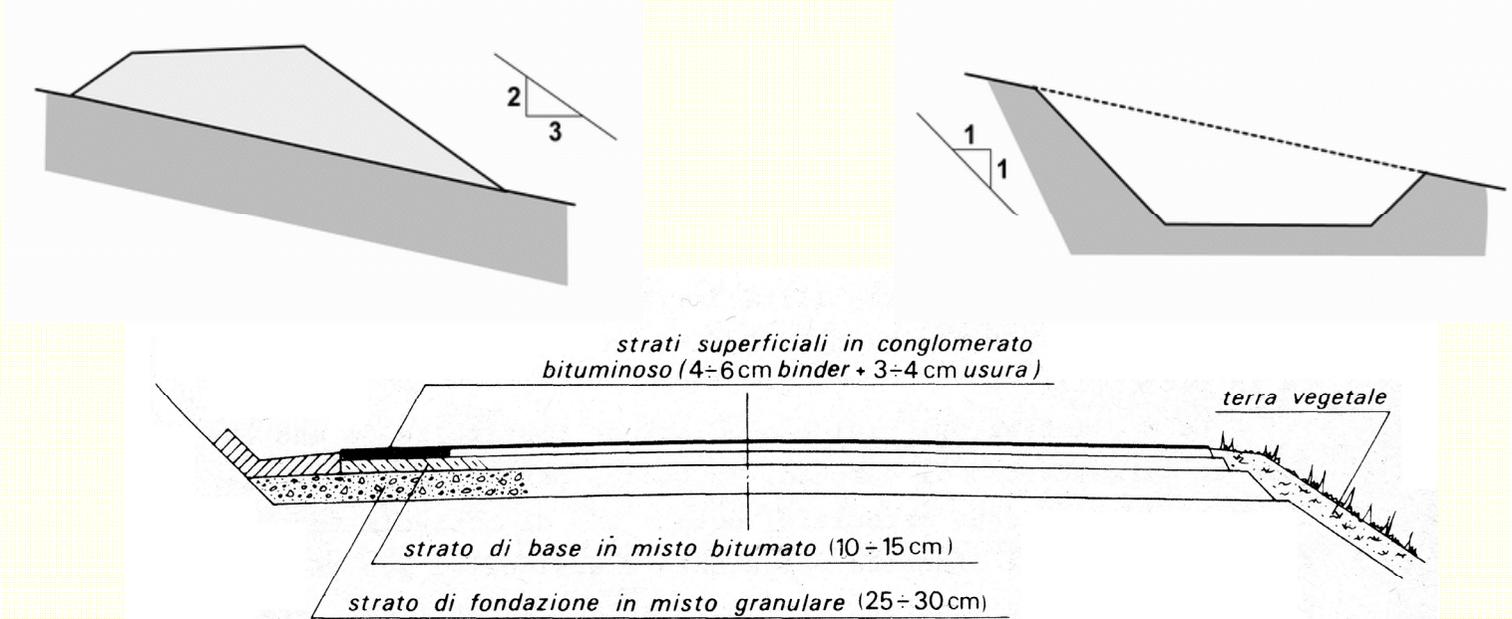


CRITERI PROGETTUALI DELLE STRADE

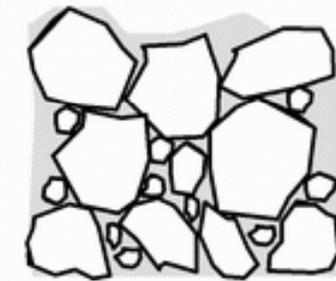
STRUTTURA



MATERIALI



- ❖ La maggior parte del materiale di costruzione è costituita da granuli di solidi con dimensioni variabili



CRITERI PROGETTUALI DELLE STRADE

STRUTTURA



TERRE

- Terre o Terreni
- Il prodotto di tutti i materiali, organici ed inorganici, che costituiscono la crosta rocciosa terrestre derivato dalla distruzione della parte affiorante per alterazione (agenti atmosferici e di sostanze organiche) o per disgregazione (processi fisici).
- Le terre ad uso stradale vanno classificate in funzione di:
 - Granulometria
 - Indice di gruppo
 - Classifica UNI-CNR 10006



CRITERI PROGETTUALI DELLE STRADE

STRUTTURA



TERRE

- ✿ Granulometria
- ✿ In funzione delle dimensioni dei granuli delle frazioni principali
 - ✿ Ghiaia
 - ✿ Sabbia
 - ✿ Limo
 - ✿ Argilla

Dimensioni (mm)	Classificazione
> 71	Ciottoli
≤ 71 e > 25	Ghiaia o breccia
≤ 25 e > 10	Ghiaietto o breccetta
≤ 10 e > 2	Ghiaino o brecciolino
≤ 2 e > 0.05	Sabbia
≤ 0.05 e > 0.005	Limo
≤ 0.005	Argilla



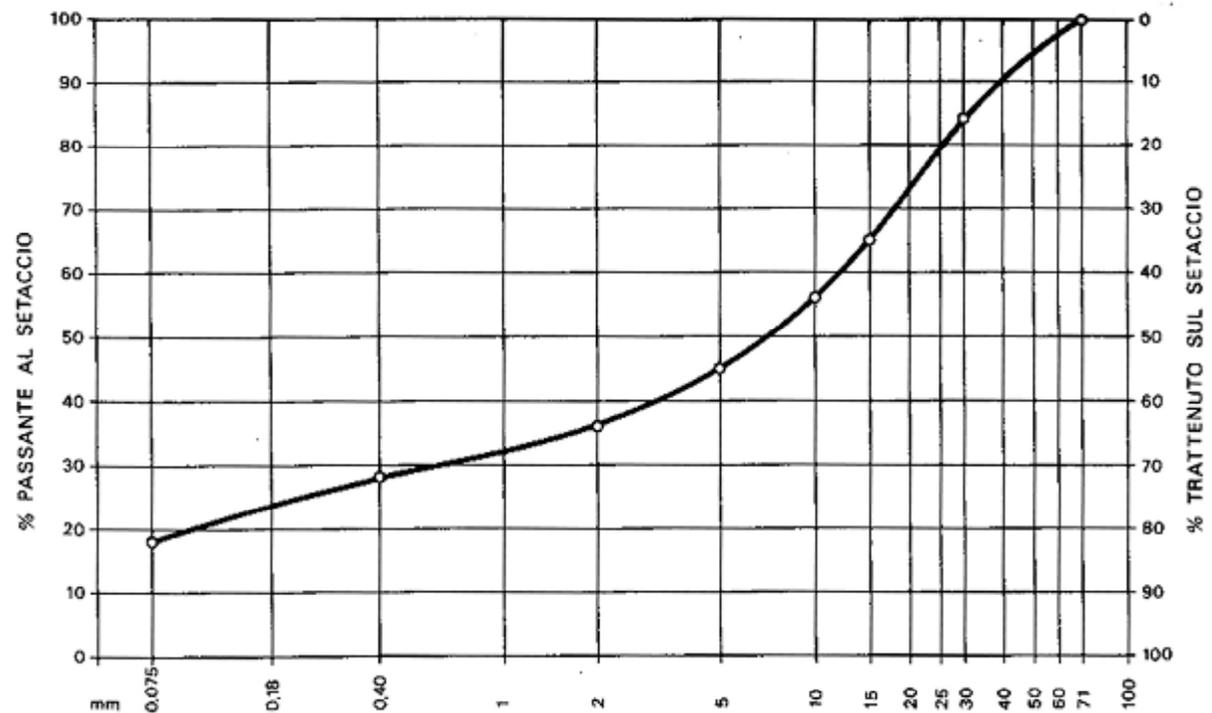
CRITERI PROGETTUALI DELLE STRADE

STRUTTURA



TERRE

- Granulometria
- In funzione della rappresentazione delle distribuzioni delle dimensioni dei granuli



CRITERI PROGETTUALI DELLE STRADE

STRUTTURA



TERRE

- ✿ Granulometria
- ✿ Crivelli e setacci



CRITERI PROGETTUALI DELLE STRADE

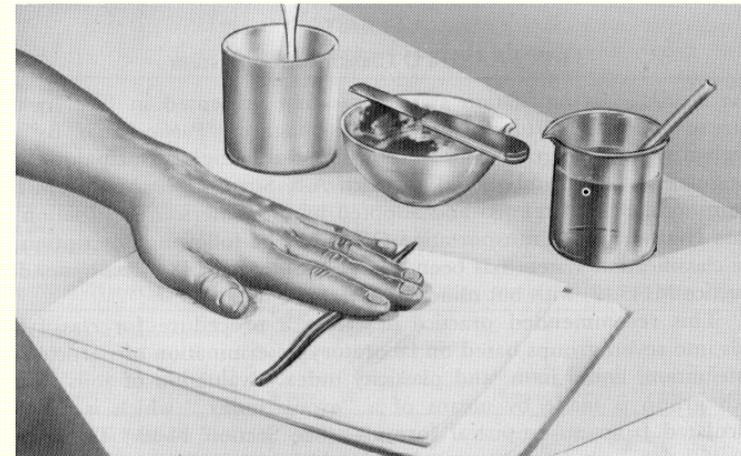
STRUTTURA



TERRE

☀ Indice di gruppo

- ☀ Classificazione in 21 gruppi (da 0 a 20) ad uso stradale in funzione della suscettibilità all'acqua con una relazione che lega
- ☀ Passante al setaccio 0.075 mm - UNI 2332
- ☀ Limite liquido
- ☀ Indice di plasticità



CRITERI PROGETTUALI DELLE STRADE

STRUTTURA



TERRE

- ❁ Classifica UNI 10006 per le terre ad uso stradale in funzione
 - ❁ Passanti ai setacci - UNI 2332 (0.075, 0.4 e 2.0 mm)
 - ❁ Limite liquido
 - ❁ Indice di plasticità
 - ❁ Indice di gruppo
- ❁ Classifica le terre in 8 gruppi (A1, A8) e fornisce indicazioni sulle caratteristiche del terreno utilizzato come sottofondo stradale quali: materiali caratteristici costituenti il gruppo, caratteristiche come sottofondo, azione al gelo, permeabilità ed una classificazione generale



CRITERI PROGETTUALI DELLE STRADE

STRUTTURA



TERRE

Classifica UNI 10006 per le terre ad uso stradale

Gruppo	Sotto-gruppo	Frazione passante allo staccio UNI 2332			I.L. (limite liquido)	IP (indice di plasticità)	Indice di gruppo	Materiali caratteristici costituenti il gruppo	Caratt-ristiche come sottofondo in assenza di gelo	Azione del gelo sulle qualità portanti	Ritiro o rigonfiamento	Permeabilità	Classificazione generale
		2	0.4	0.075									
A1	A1-a A1-b	≤ 50	≤ 30 ≤ 50	≤ 15 ≤ 25	-	≤ 6	0	ghiaia o breccia, ghiaia o breccia sab-biosa, sabbia grossa, pomice, scorie vulca-niche, pozzolane	da eccellente a buono	nessuna o lieve	nullo	elevata	Terre ghiaio-sabbiose
A3	-	-	> 50	≤ 10	-	-	0	sabbia fine					
A2	A2-4 A2-5 A2-6 A2-7	-	-	≤ 35	≤ 40 > 40	≤ 10 ≤ 10 > 10 > 10	0 ≤ 4	ghiaia o sabbia limosa o argillosa	da mediocre a scadente	media	nullo o lieve	media o scarsa	Terre limo-argillose
A4	-	-	-	> 35	≤ 40	≤ 10	≤ 8	limi poco compressibili					
A5	-	-	-	> 35	> 40	≤ 10	≤ 12	limi fortemente compressibili					
A6	-	-	-	> 35	≤ 40	> 10	≤ 16	argille poco compressibili					
A7	A7-5	-	-	> 35	> 40	> 10	≤ 20	argille fortemente compressibili mediamente plastiche	da mediocre a scadente	elevata	elevato	scarsa o nulla	Terre limo-argillose
	A7-6				> 40	> 10							
A8	-	-	-	-	-	-	-	torbe, detriti organici di origine palustre	inadatto				Torbe



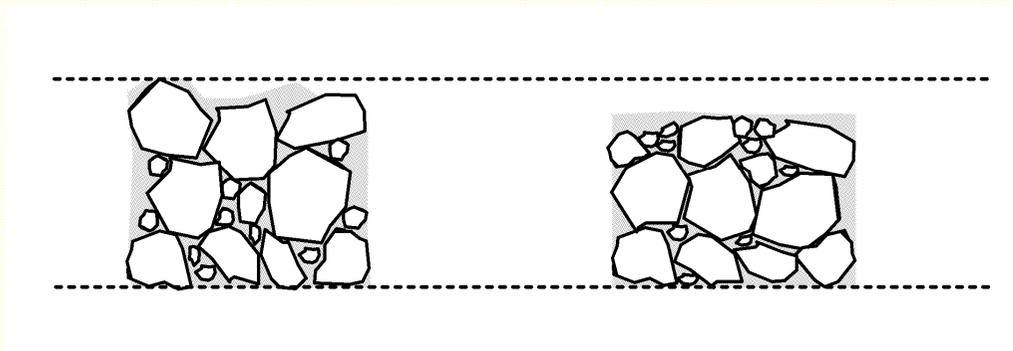
CRITERI PROGETTUALI DELLE STRADE

STRUTTURA



INERTI

- Le azioni di costipamento dei materiali granulari richiedono una certa quantità di energia che è funzione di:
 - Tipo di materiale
 - Tecniche usate per il costipamento
 - Spessore dello strato di materiale sottoposto ad azione costipante
 - Contenuto d'acqua del materiale



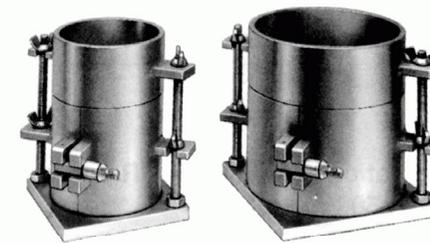
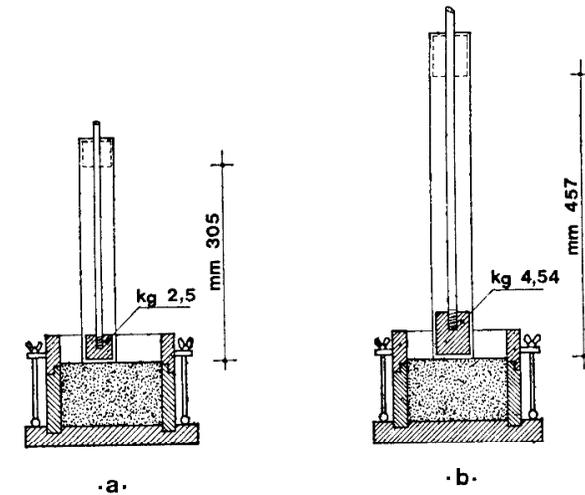
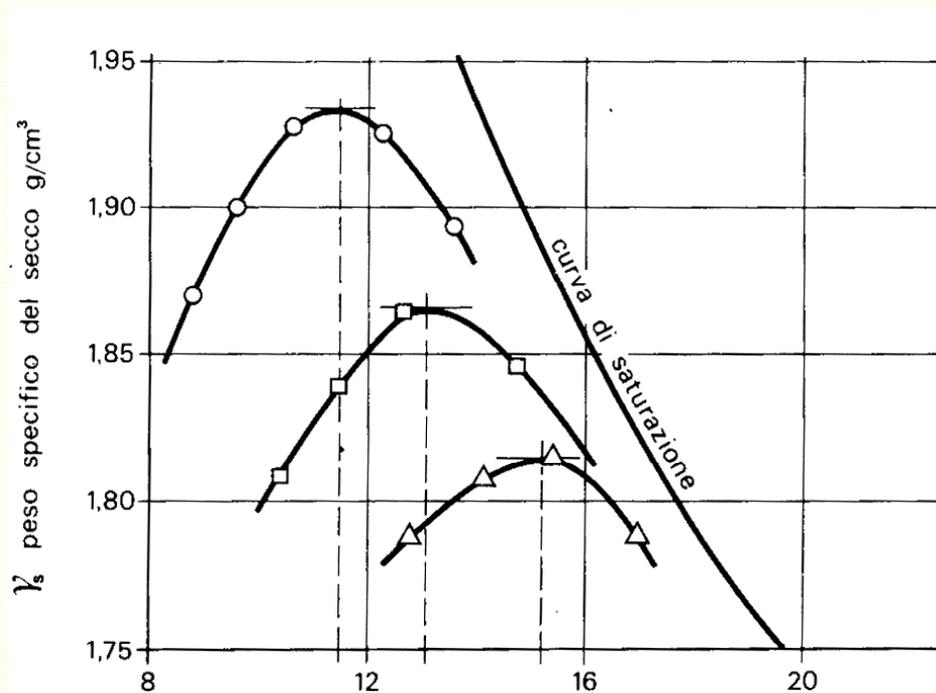
CRITERI PROGETTUALI DELLE STRADE

STRUTTURA



INERTI

PROVA PROCTOR (AASHO ED AASHO MOD.)



CRITERI PROGETTUALI DELLE STRADE

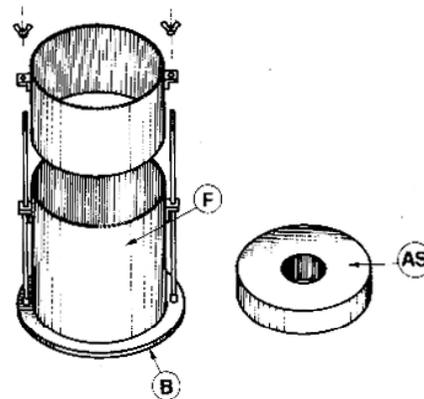
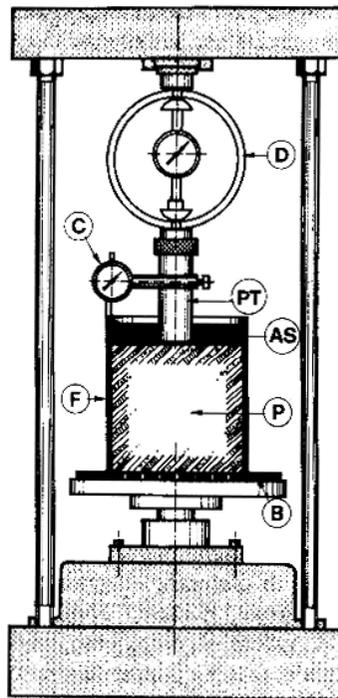
STRUTTURA



INERTI

PROVA CBR

- P) Provino terreno
- F) Fustella
- B) Basamento
- AS) Anello sovraccarico
- PT) Pistone di carico
- C) Comparatore cedimenti
- D) Anello dinamometrico



Si fa penetrare nel campione, a velocità costante di 1.27 mm/min, un pistone normalizzato. Si diagrammano i risultati degli abbassamenti in funzione del carico. I carichi richiesti per gli abbassamenti di 2.5 e 5 mm sono rispettivamente rapportati ai carichi convenzionali di 1360 e 2040 kg. L'indice CBR è dato dal maggiore dei due rapporti percentuale.



CRITERI PROGETTUALI DELLE STRADE

STRUTTURA



INERTI

PROVA CBR



- Si fa penetrare nel campione, a velocità costante di 1.27 mm/min, un pistone normalizzato. Si diagrammano i risultati degli abbassamenti in funzione del carico. I carichi richiesti per gli abbassamenti di 2.5 e 5 mm sono rispettivamente rapportati ai carichi convenzionali di 1360 e 2040 kg. L'indice CBR è dato dal maggiore dei due rapporti percentuale.



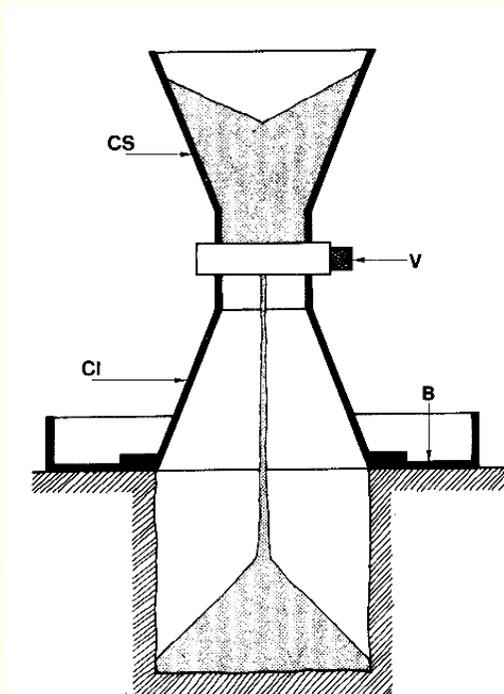
CRITERI PROGETTUALI DELLE STRADE

STRUTTURA



INERTI

✿ DENSITÀ IN SITO



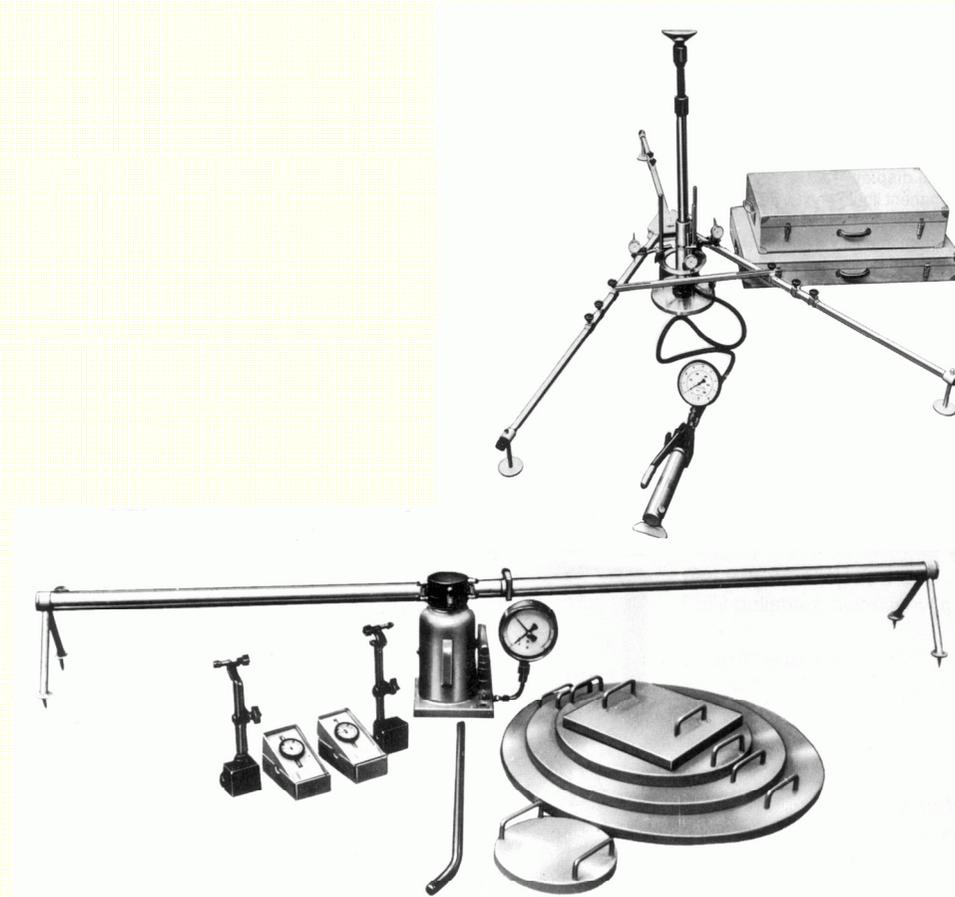
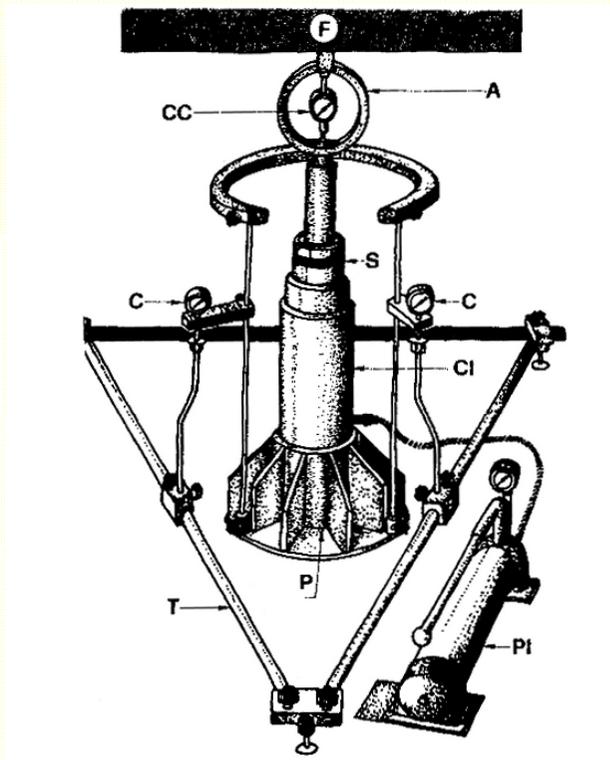
CRITERI PROGETTUALI DELLE STRADE

STRUTTURA



INERTI

PROVA CON PIASTRA



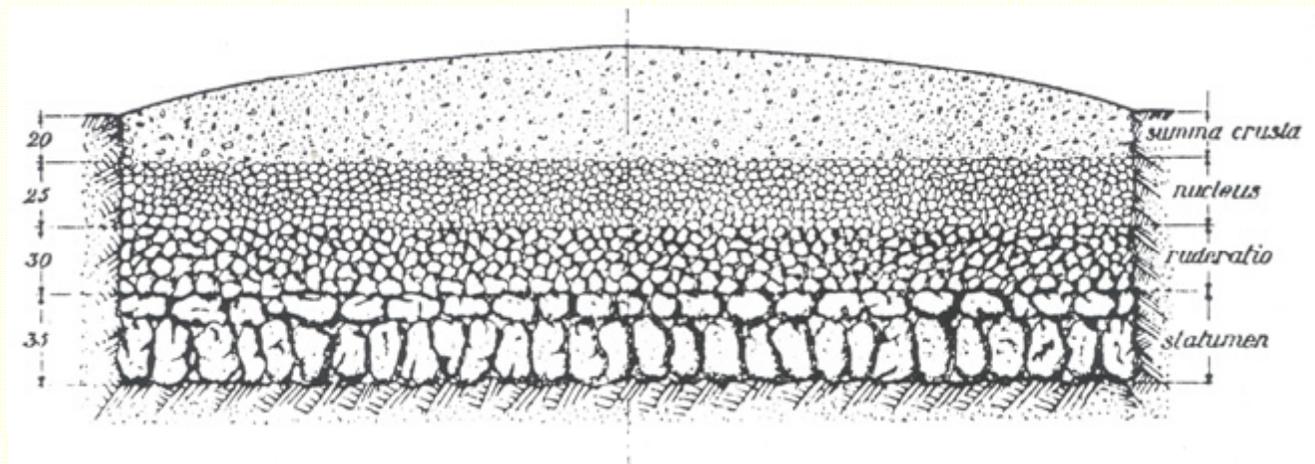
CRITERI PROGETTUALI DELLE STRADE

STRUTTURA



INERTI

- ❁ **Sottofondo.** Il sottofondo non è un vero e proprio strato della sovrastruttura, ma è quella parte più superficiale del terreno su cui è realizzata la pavimentazione vera e propria. Esso dev'essere dotato di una buona **portanza** e di una buona capacità di resistere all'azione dei carichi indotti dalla sovrastruttura senza alterazioni strutturali.



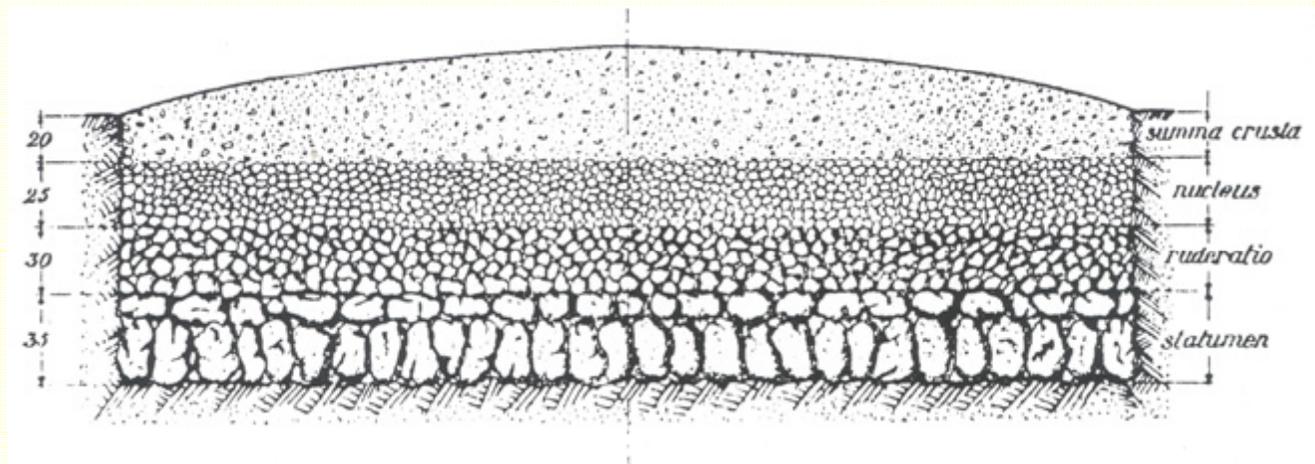
CRITERI PROGETTUALI DELLE STRADE

STRUTTURA



INERTI

- ❖ **Strati di fondazione e di base.** Gli strati di fondazione devono possedere una portanza superiore a quella richiesta al sottofondo, resistere bene anche a sollecitazioni flessionali ed a fenomeni di fatica indotti dalle ripetizioni del carico.



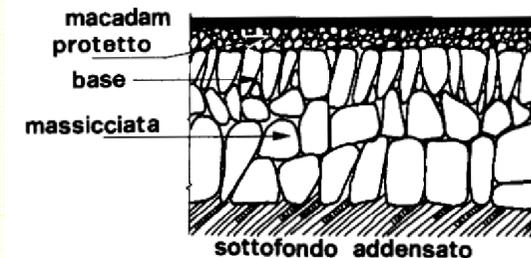
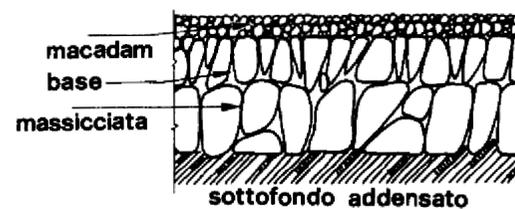
CRITERI PROGETTUALI DELLE STRADE

STRUTTURA



INERTI

- ❖ **Strati di collegamento ed usura.** Questi devono avere caratteristiche di resistenza meccaniche migliori di quelle degli strati precedenti, resistere bene alle sollecitazioni flessionali ed agli sforzi di taglio trasmessi dai carichi. In particolare lo strato di usura dovrà garantire una superficie di rotolamento sufficientemente uniforme, dotata di una microrugosità elevata che non diminuisca eccessivamente nel tempo con il ripetersi dei passaggi degli assi veicolari e sufficientemente resistente ai fenomeni di fatica.



CRITERI PROGETTUALI DELLE STRADE

STRUTTURA



INERTI

- ❁ Controlli sugli inerti
 - ❁ granulometria;
 - ❁ forma;
 - ❁ spigolosità;
 - ❁ resistenza alla frantumazione;
 - ❁ resistenza al consumo per attrito;
 - ❁ resistenza all'abradibilità;
 - ❁ gelività;
 - ❁ alterabilità.



CRITERI PROGETTUALI DELLE STRADE

STRUTTURA



INERTI

- ❖ LA GRANULOMETRIA
- ❖ **0/D** granulometria continua fino al massimo diametro medio D , con una presenza di tutte le frazioni passanti ai setacci fino al diametro D ;
- ❖ **d/D** granulometria tanto più controllata quanto più ristretto sarà l'intervallo delimitato dai due estremi d e D ; in particolare sarà sempre assente la frazione fino al disotto del minimo diametro d .



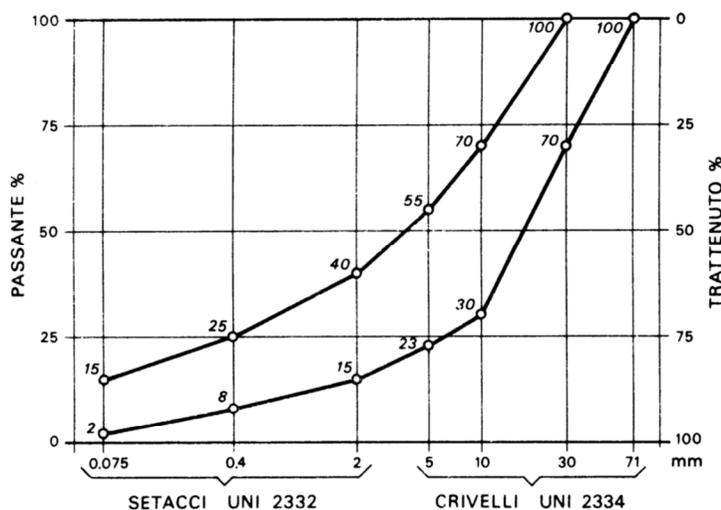
CRITERI PROGETTUALI DELLE STRADE

STRUTTURA



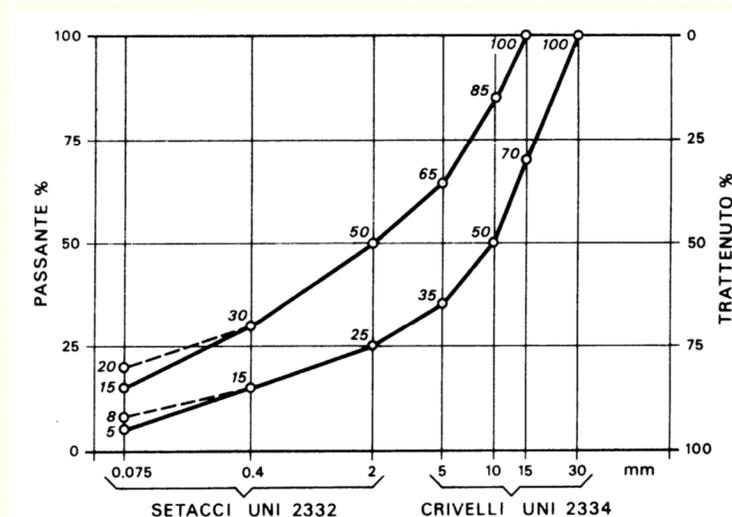
INERTI

LA GRANULOMETRIA



Prescrizioni granulometriche per misti granulari di dimensione massima 30 mm (tipo A) da impiegare in strati di fondazione (CNR)

Prescrizioni granulometriche per misti granulari di dimensione massima 71 mm (tipo A) da impiegare in strati di fondazione (CNR)



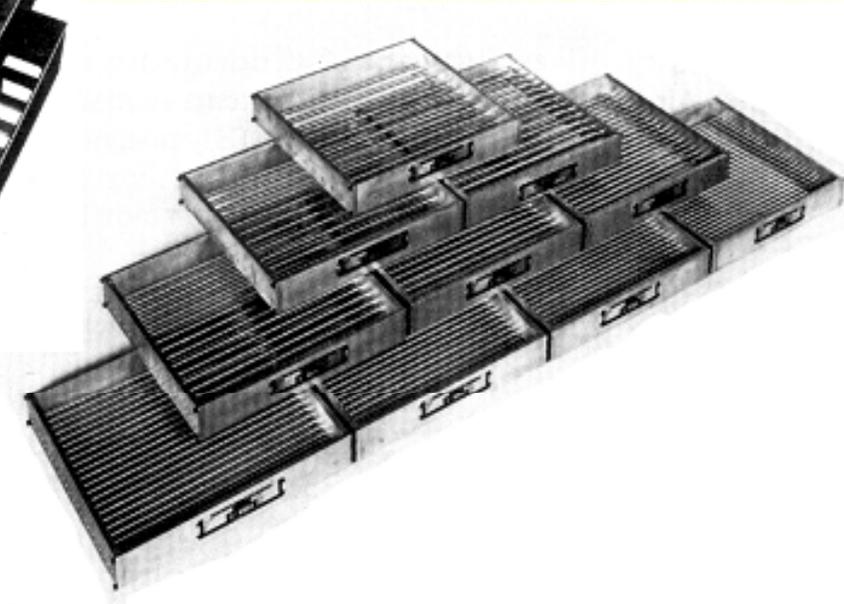
CRITERI PROGETTUALI DELLE STRADE

STRUTTURA



INERTI

FORMA E SPIGOLOSITÀ



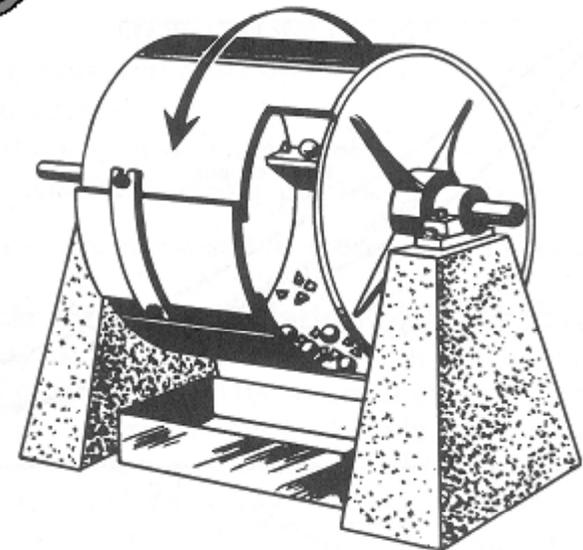
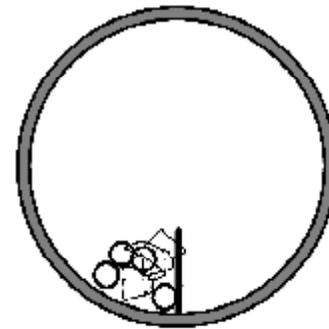
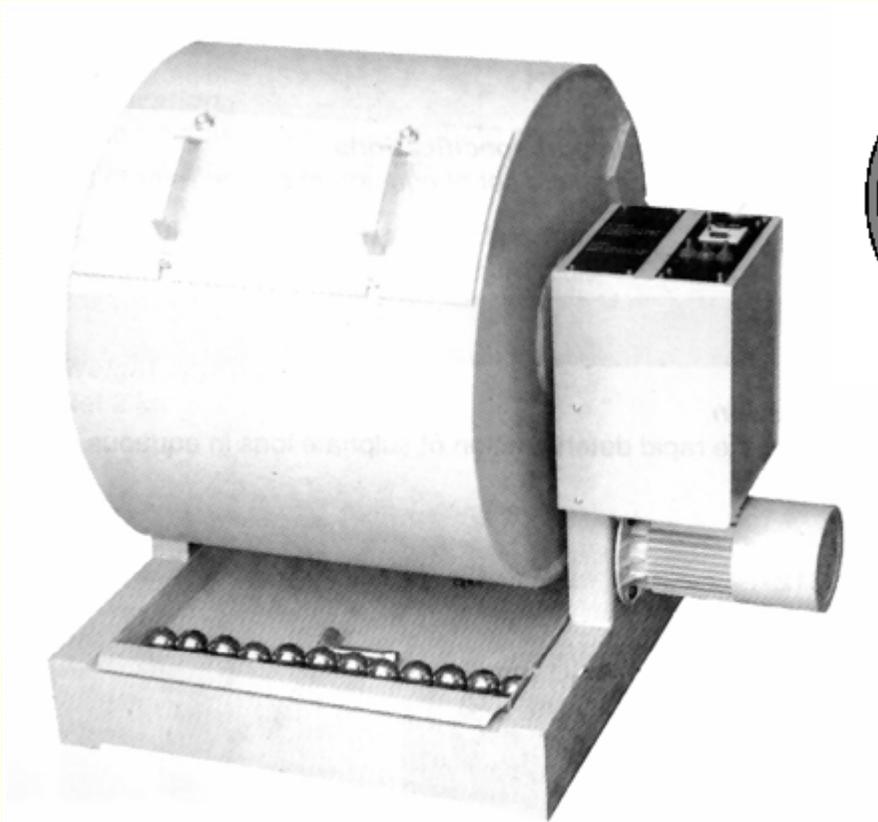
CRITERI PROGETTUALI DELLE STRADE

STRUTTURA



INERTI

FRANTUMAZIONE E CONSUMO PER ATTRITO



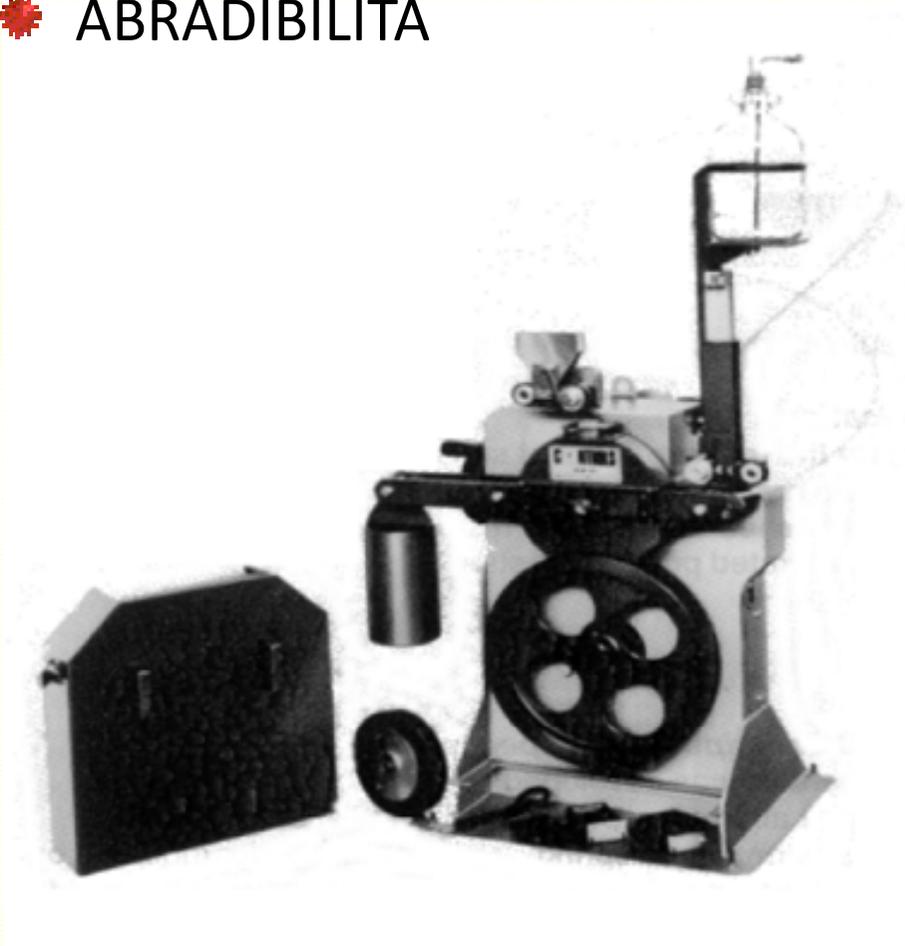
CRITERI PROGETTUALI DELLE STRADE

STRUTTURA



INERTI

✿ ABRADIBILITÀ



CRITERI PROGETTUALI DELLE STRADE

STRUTTURA



LEGANTI

- ❁ Caratterizzazione dei leganti bituminosi:
 - ❁ Solubilità in solfuro di carbonio;
 - ❁ Penetrazione;
 - ❁ Rammollimento (Palla e anello);
 - ❁ Rottura (Fraas);
 - ❁ Duttilità;
 - ❁ Volatilità;
 - ❁ % di paraffina;
 - ❁ Adesione.



CRITERI PROGETTUALI DELLE STRADE

STRUTTURA



LEGANTI

✿ PENETRAZIONE



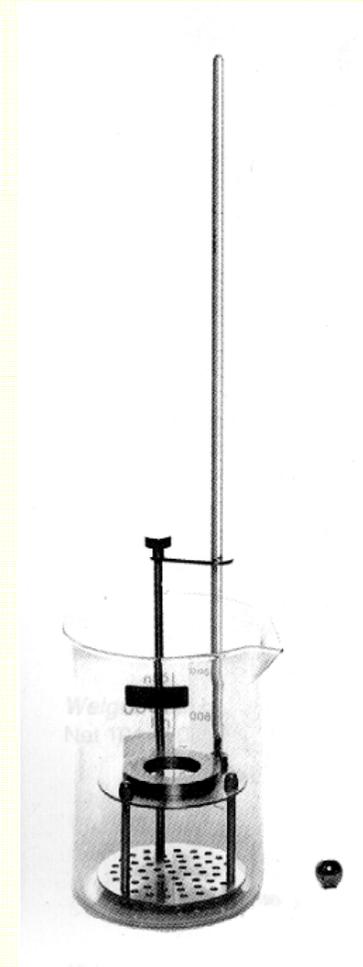
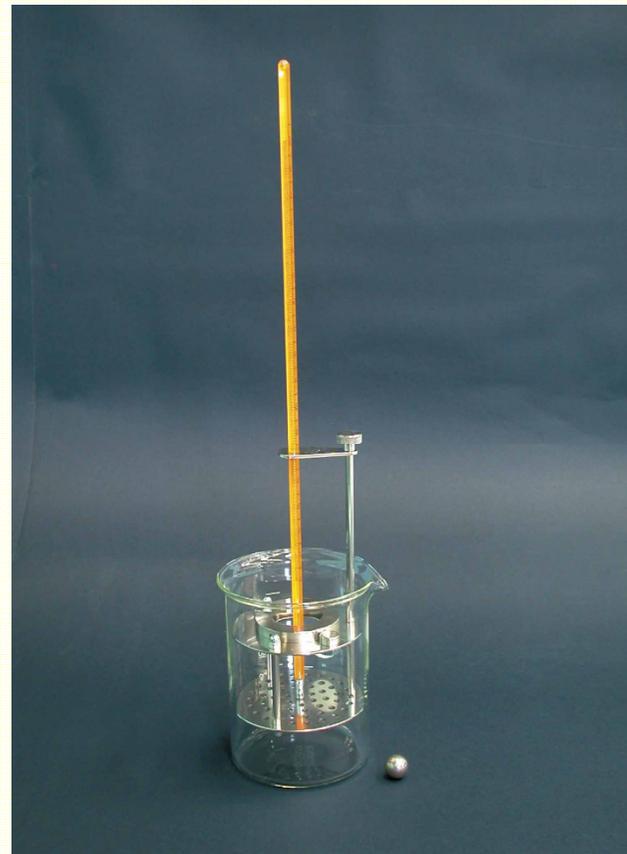
CRITERI PROGETTUALI DELLE STRADE

STRUTTURA



LEGANTI

✿ PALLA E ANELLO



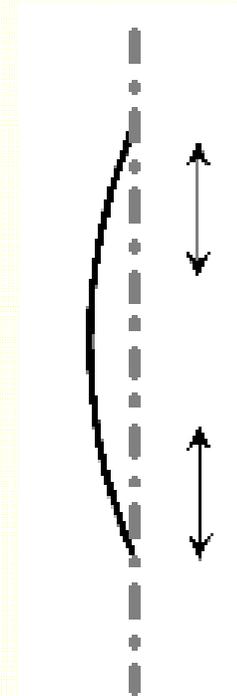
CRITERI PROGETTUALI DELLE STRADE

STRUTTURA



LEGANTI

❄ FRAAS



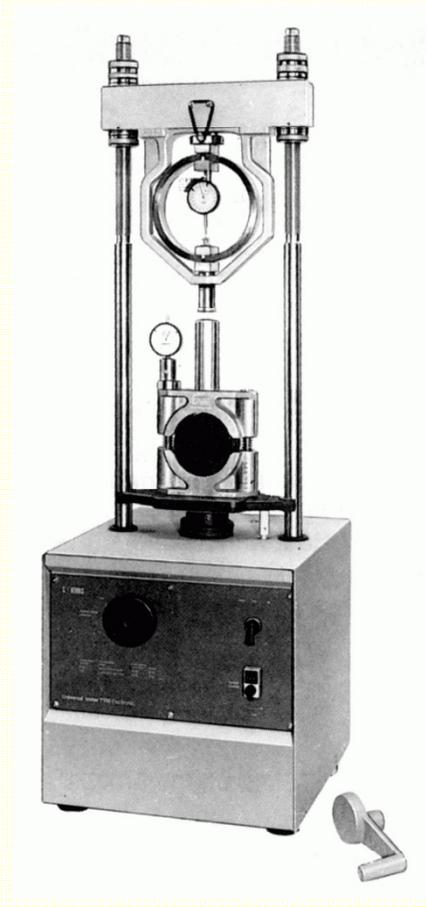
CRITERI PROGETTUALI DELLE STRADE STRUTTURA



CONGLOMERATI

PROVA MARSHALL

- Si effettua su provini cilindrici di conglomerato con $d=10$ cm ed $h=6.3$ cm.
- Compattazione della miscela a 125° con 50 o 75 colpi per base.
- Stagionatura a temperatura ambiente.
- Provino tenuto a 60° per 30/40 min. e poi provato.
- Velocità di deformazione costante 0.85 mm/sec.
- Misura del carico a rottura e dello spostamento delle ganasce (scorrimento marshall).



CRITERI PROGETTUALI DELLE STRADE

GEOMETRIA



NORMA

- ❖ **D.M. n. 6792 del 5/11/2001 e s.m.i «Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade»**
- ❖ Le norme si riferiscono alla costruzione di tutti i tipi di strade, con esclusione di quelle di montagna collocate su terreni morfologicamente difficili, per le quali non è generalmente possibile il rispetto dei criteri di progettazione previsti.
- ❖ Non considerano particolari categorie di strade urbane, quali ad esempio quelle collocate in zone residenziali, che necessitano di particolari arredi, quali anche i dispositivi per la limitazione della velocità dei veicoli, né quelle locali a destinazione particolare. Parimenti, esse non riguardano la progettazione geometrica e funzionale delle intersezioni.
- ❖ Interventi su strade esistenti vanno eseguiti adeguando, per quanto possibile, le caratteristiche geometriche delle stesse, in modo da soddisfare nella maniera migliore le esigenze della circolazione. La transizione tra tratti adeguati e tratti in cui l'adeguamento è stato ritenuto non possibile dovrà essere convenientemente risolta ad evitare l'introduzione di ulteriori situazioni di pericolosità.



CRITERI PROGETTUALI DELLE STRADE

GEOMETRIA



NORMA

- ✿ **CAP. 1 DEFINIZIONI E RIFERIMENTI NORMATIVI**
- ✿ **CAP. 2 LE RETI STRADALI**
- ✿ **CAP. 3 CLASSIFICAZIONE DELLE STRADE E CRITERI COMPOSITIVI DELLA PIATTAFORMA**
 - ✿ 3.1 Premessa
 - ✿ 3.2 Individuazione delle categorie di traffico
 - ✿ 3.3 Elementi costitutivi dello spazio stradale
 - ✿ 3.4 Caratteristiche geometriche e di traffico delle sezioni
 - ✿ (Numero delle corsie per senso di marcia, Larghezza delle corsie, Larghezza del margine interno e del margine laterale, Livello di servizio, Portata di servizio, Larghezza del marciapiede, Regolazione della sosta, Regolazione dei mezzi pubblici)
 - ✿ 3.5 Strade locali a destinazione particolare
 - ✿ 3.6 Esempi di organizzazione della piattaforma stradale



CRITERI PROGETTUALI DELLE STRADE

GEOMETRIA



NORMA

- ✿ **CAP. 4 ORGANIZZAZIONE DELLA SEDE STRADALE**
- ✿ 4.1 Sezione stradale in sede artificiale
- ✿ (Opere di scavalco e sottopassi, Gallerie)
- ✿ 4.2 Corsie supplementari per veicoli lenti
- ✿ 4.3 Elementi marginali e di arredo della sede stradale
- ✿ (Margine interno, Margine laterale, Margine esterno, Cigli e cunette, Marciapiedi, Piazzole di sosta, Dispositivi di ritenuta ed altri elementi di arredo funzionale)



CRITERI PROGETTUALI DELLE STRADE

GEOMETRIA



NORMA

✿ CAP. 5 GEOMETRIA DELL'ASSE STRADALE

✿ 5.1 Distanze di visibilità

✿ Visuali libere, Distanza di visibilità per l'arresto, Distanza di visibilità per il sorpasso, Distanza di visibilità per la manovra di cambiamento di corsia, Applicazioni progettuali

✿ 5.2 Andamento planimetrico dell'asse

✿ (Criteri di composizione dell'asse, Elementi del tracciato planimetrico, Pendenze trasversali della piattaforma nei rettifili, Pendenze trasversali della piattaforma in funzione del raggio delle curve circolari e della velocità, Curve a raggio variabile, Pendenze trasversali nelle curve a raggio variabile, Allargamento della carreggiata in curva)

✿ 5.3 Andamento altimetrico dell'asse

✿ (Elementi del profilo altimetrico, Raccordi verticali, Raccordi verticali convessi (dossi), Raccordi verticali concavi (sacche))



CRITERI PROGETTUALI DELLE STRADE

GEOMETRIA



NORMA

- ✿ **CAP. 5 GEOMETRIA DELL'ASSE STRADALE**
- ✿ 5.4 Diagramma delle velocità
- ✿ (Lunghezza di transizione, Distanza di riconoscimento, Costruzione del diagramma delle velocità, Esame del diagramma delle velocità)
- ✿ 5.5. Coordinamento plano-altimetrico
- ✿ (Posizione del raccordo verticale, Difetti di coordinamento fra elementi planimetrici ed altimetrici, Perdita di tracciato)



CRITERI PROGETTUALI DELLE STRADE

GEOMETRIA



PLANIMETRIA

- L'esistenza di opportune **visuali libere** costituisce primaria ed inderogabile condizione di sicurezza della circolazione.
- Per distanza di visuale libera si intende la lunghezza del tratto di strada che il conducente riesce a vedere davanti a sé senza considerare l'influenza del traffico, delle condizioni atmosferiche e di illuminazione della strada.
- Le seguenti distanze da verificare sono:
 - **Distanza di visibilità per l'arresto**, che è pari allo spazio minimo necessario perché un conducente possa arrestare il veicolo in condizione di sicurezza davanti ad un ostacolo imprevisto.
 - **Distanza di visibilità per il sorpasso**, che è pari alla lunghezza del tratto di strada occorrente per compiere una manovra di completo sorpasso in sicurezza, quando non si possa escludere l'arrivo di un veicolo in senso opposto.
 - **Distanza di visibilità per la manovra di cambiamento di corsia**, che è pari alla lunghezza del tratto di strada occorrente per il passaggio da una corsia a quella ad essa adiacente nella manovra di deviazione in corrispondenza di punti singolari (intersezioni, uscite, ecc.).



CRITERI PROGETTUALI DELLE STRADE

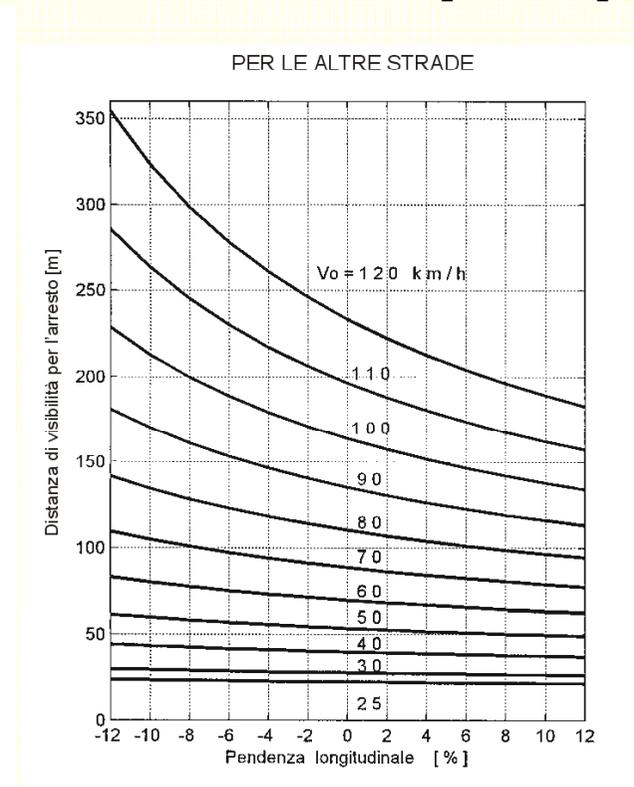
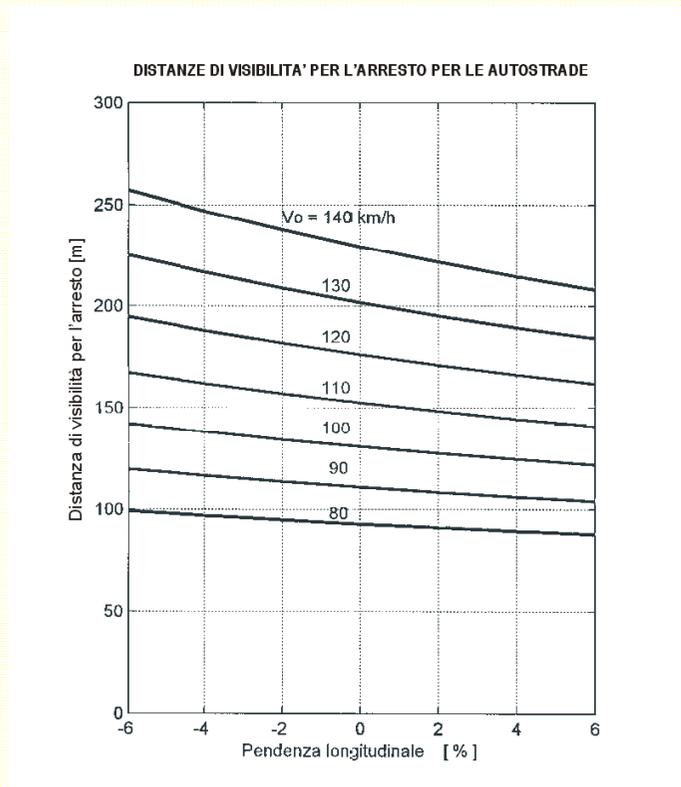
GEOMETRIA



PLANIMETRIA

✿ Distanza di visibilità per l'arresto

$$D_A = D_1 + D_2 = \frac{V_0}{3,6} \times \tau - \frac{1}{3,6^2} \int_{V_0}^{V_1} \frac{V}{g \times \left[f_l(V) \pm \frac{i}{100} \right] + \frac{Ra(V)}{m} + r_0(V)} dV$$



CRITERI PROGETTUALI DELLE STRADE

GEOMETRIA



PLANIMETRIA

- ✿ Distanza di visibilità per il sorpasso

$$D_S = 20 \times v = 5,5 \times V$$

- ✿ Distanza di visibilità per la manovra di cambiamento di corsia

$$D_C = 9,5 \times v = 2,6 V$$



CRITERI PROGETTUALI DELLE STRADE

GEOMETRIA



PLANIMETRIA

✿ Distanza di visibilità

V km/h	Distanze di arresto		Cambio corsia	Sorpasso
	Autostrade	Altre		
30		28	78	165
40		40	104	220
50		54	130	275
60		71	156	330
70		90	182	385
80	94	112	208	440
90	113	136	234	495
100	133	164	260	550
110	155	194	286	605
120	179	228	312	660
130	206		338	715
140	234		364	770



CRITERI PROGETTUALI DELLE STRADE

GEOMETRIA



PLANIMETRIA

- Lungo tutto il tracciato deve essere assicurata la **distanza di visibilità per l'arresto** in condizioni ordinarie o con tempi di reazione maggiorati.
- Nelle strade extraurbane a unica carreggiata con doppio senso di marcia, la **distanza di visibilità per il sorpasso** deve essere garantita ... in misura comunque non inferiore al 20%.
- Ai fini delle verifiche delle visuali libere, la posizione del conducente deve essere sempre considerata al centro della corsia da lui impegnata, con **l'altezza del suo occhio** a m. 1,10 dal piano viabile. Nella valutazione della distanza di visibilità per l'arresto, l'ostacolo va collocato a m. 0,10 dal piano viabile e sempre lungo l'asse della corsia del conducente. Nel caso della distanza di visibilità per il sorpasso, l'ostacolo mobile va collocato nella corsia opposta, con altezza pari a m. 1,10. Nel caso della manovra di cambiamento di corsia, deve venir verificata la possibilità di vedere il limite più lontano della corsia adiacente a quella impegnata dal conducente.



CRITERI PROGETTUALI DELLE STRADE

GEOMETRIA



PLANIMETRIA

❖ Gli Intervalli di velocità di progetto

D.M. n. 6792 del 5/11/2001 e s.m.i. Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade.		Intervalli di velocità di progetto (km/h)	
		V_{min}	V_{max}
A	Autostrade extraurbane	90	140
	Autostrade urbane	80	140
B	Strade extraurbane principali	70	120
C	Strade extraurbane secondarie	60	100
D	Strade urbane i scorrimento	50	80
E	Strade urbane di quartiere	40	60
F	Strade locali extraurbane	40	100
	Strade locali urbane	25	60

NORME CNR del 1980 (extraurbane) e del 1978 (urbane)	Intervalli di velocità di progetto (km/h)	
	V_{min}	V_{max}
Strade tipo I	110	140
Strade tipo II	90	120
Strade primarie	80	- (*)
Strade tipo II	90	120
Strade tipo III	80	100
Strade tipo IV	80	100
Strade tipo V, A	60	80
Strade urbane di scorrimento	60	- (*)
Strade urbane di quartiere	40	- (*)
Strade tipo VI	40	60
Strade B, C	40	- (*)
Strade locali urbane	40	- (*)



CRITERI PROGETTUALI DELLE STRADE

GEOMETRIA



PLANIMETRIA

- Nella definizione dell'asse di una strada, tradizionalmente si studia separatamente l'andamento planimetrico da quello altimetrico.
- Secondo tale impostazione il **tracciato planimetrico** è costituito da una successione di elementi geometrici tradizionali, quali i rettifili, le curve circolari ed i raccordi a raggio variabile, mentre il **tracciato altimetrico** si articola in una successione di livellette e raccordi concavi o convessi.
- Ai fini di garantire una soluzione sicura, confortevole per gli utenti e soddisfacente dal punto di vista ottico, è necessario adottare per la planimetria e l'altimetria, **soluzioni coordinate e compatibili** con le velocità di progetto



CRITERI PROGETTUALI DELLE STRADE

GEOMETRIA



PLANIMETRIA

- ❖ RETTIFILI
- ❖ Per evitare il superamento delle velocità consentite, la monotonia, la difficile valutazione delle distanze e per ridurre l'abbagliamento nella guida notturna è opportuno che i rettifili abbiano una lunghezza L_r contenuta nel seguente limite

$$L_r = 22 \times V_{p \text{ Max}}$$

- ❖ Un rettifilo, per poter esser percepito come tale dall'utente, deve avere una lunghezza non inferiore ai valori riportati nella seguente tabella; per velocità si intende la massima desunta dal diagramma di velocità per il rettifilo considerato

Velocità [km/h]	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140
Lunghezza min [m]	30	40	50	65	90	115	150	190	250	300	360



CRITERI PROGETTUALI DELLE STRADE

GEOMETRIA



PLANIMETRIA

- ✿ RAPPORTO TRA CURVE E RETTIFILI
- ✿ Tra un rettifilo di lunghezza L_r ed il raggio più piccolo fra quelli delle due curve collegate al rettifilo stesso, anche con l'interposizione di una curva a raggio variabile, deve essere rispettata la relazione:

$$R > L_r \quad \text{per} \quad L_r < 300 \text{ m}$$
$$R \geq 400 \text{ m} \quad \text{per} \quad L_r \geq 300 \text{ m}$$



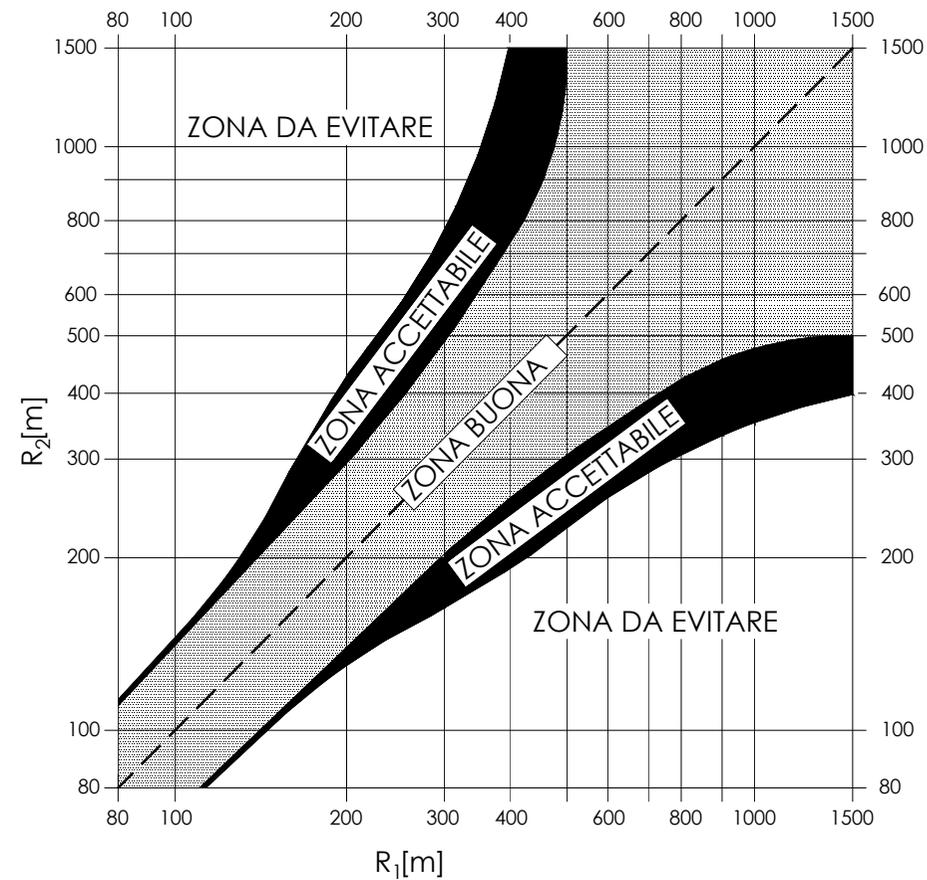
CRITERI PROGETTUALI DELLE STRADE

GEOMETRIA



PLANIMETRIA

✿ RAPPORTO TRA CURVE CIRCOLARI



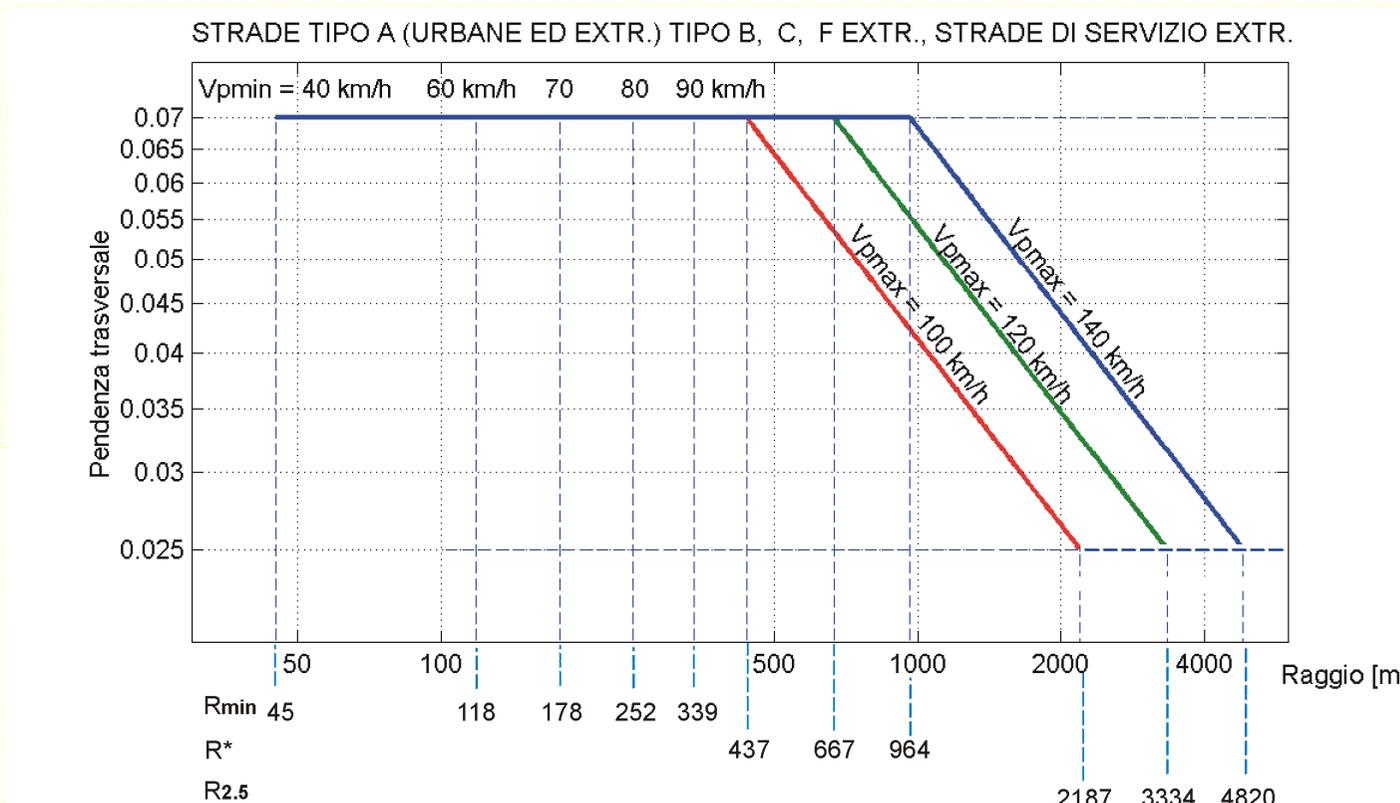
CRITERI PROGETTUALI DELLE STRADE

GEOMETRIA



PLANIMETRIA

CURVE CIRCOLARI IN FUNZIONE DELLA PENDENZA TRASVERSALE

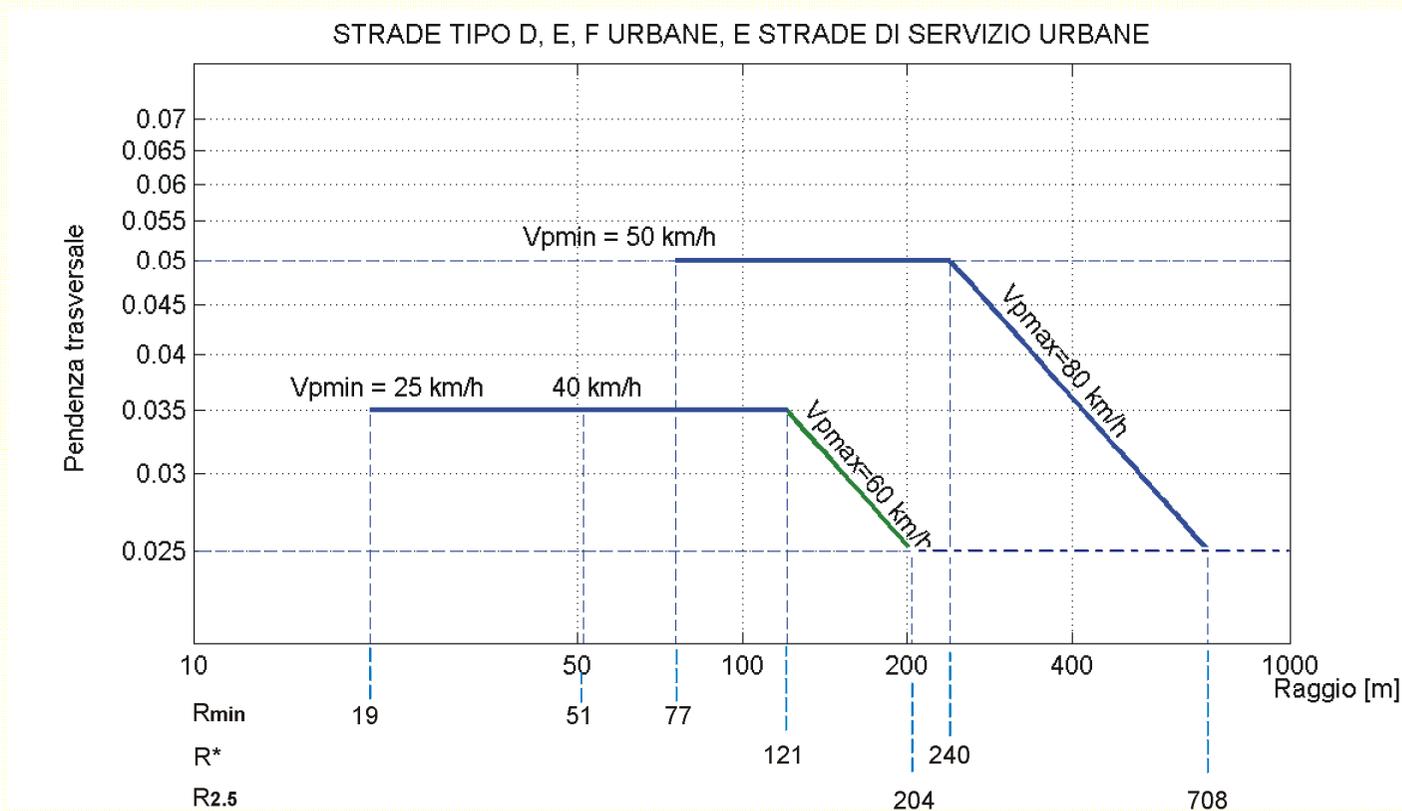


CRITERI PROGETTUALI DELLE STRADE GEOMETRIA



PLANIMETRIA

CURVE CIRCOLARI IN FUNZIONE DELLA PENDENZA TRASVERSALE

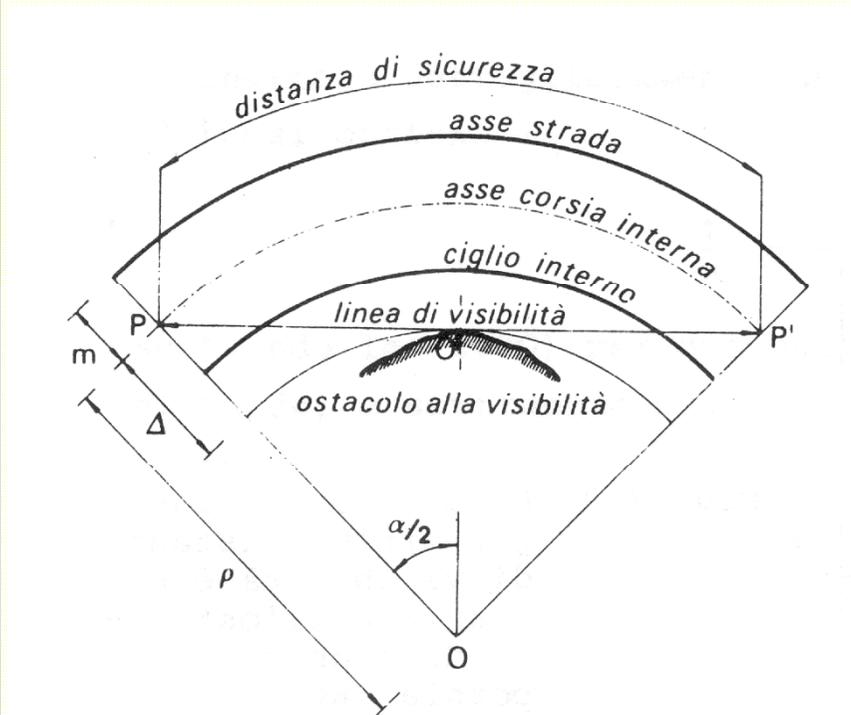


CRITERI PROGETTUALI DELLE STRADE GEOMETRIA

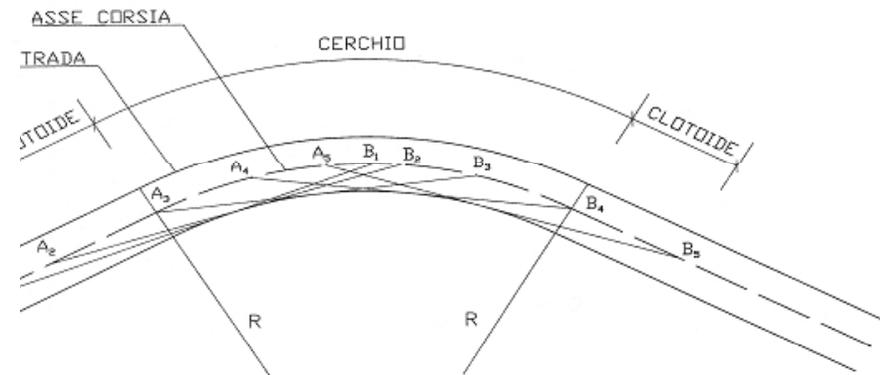


PLANIMETRIA

CURVE CIRCOLARI CONTROLLO VISUALI LIBERE



$$\Delta = \rho (1 - \cos D/2\rho)$$



$$\overline{A_1 B_1} > \overline{A_2 B_2} > \overline{A_3 B_3} = \overline{A_4 B_4} < \overline{A_5 B_5}$$

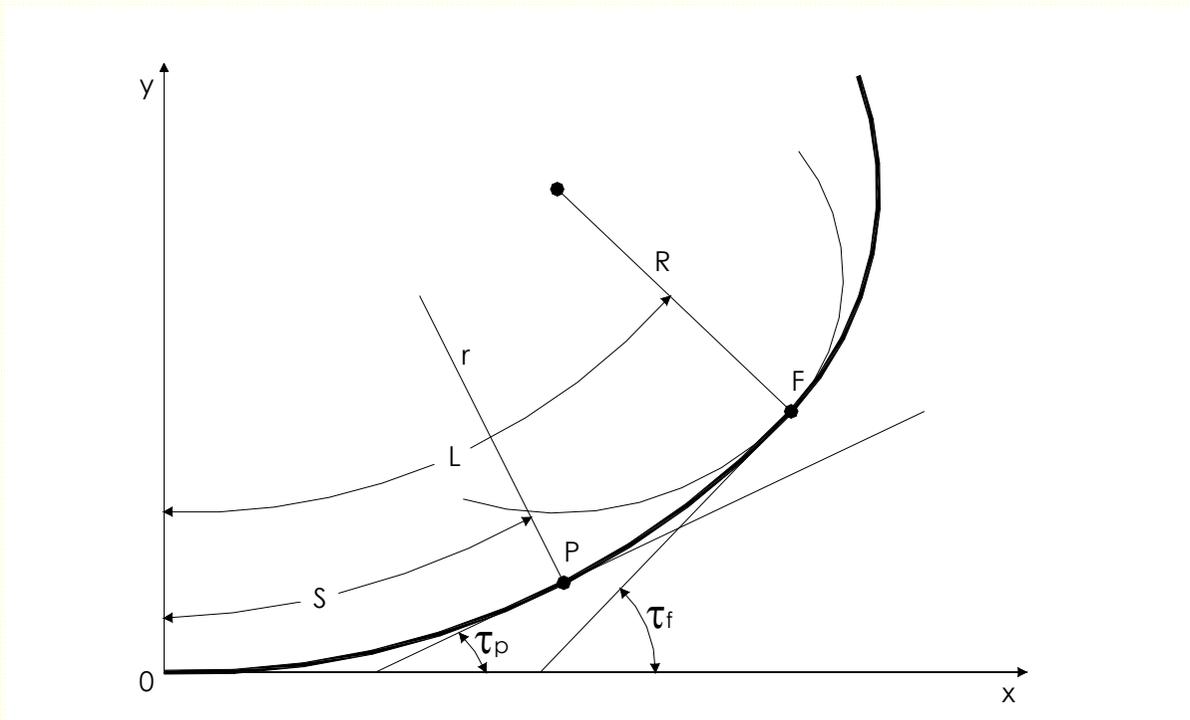


CRITERI PROGETTUALI DELLE STRADE GEOMETRIA



PLANIMETRIA

• CURVE DI RACCORDO PLANIMETRICO



CRITERI PROGETTUALI DELLE STRADE GEOMETRIA



PLANIMETRIA

- CURVE DI RACCORDO PLANIMETRICO
- Tipologie e limiti del parametro

CASI DA EVITARE		
<p>TRANSIZIONE SENZA IL CERCHIO</p>	<p>FALSO OVALE</p>	<p>PIU' CURVE DI RACCORDO CONSECUTIVE</p>

TIPOLOGIA	LIMITI
<p>TRANSIZIONE</p>	$A_1 \geq A_{min}$ $A_2 \geq A_{min}$ $\frac{R}{3} < A_1 < R$ $\frac{R}{3} < A_2 < R$ $\frac{2}{3} < \frac{A_1}{A_2} < \frac{3}{2}$
<p>FLESSO</p>	$R_2 < R_1$ $A_1 \geq A_{min}$ $A_2 \geq A_{min}$ <p>FLESSO ASIMMETRICO $A_1 \neq A_2$</p> $\frac{R_1}{3} < A_1 < R_1$ $\frac{R_2}{3} < A_2 < R_2$ $\frac{2}{3} < \frac{A_1}{A_2} < \frac{3}{2}$ <p>FLESSO SIMMETRICO $A_1 = A_2 = A$</p> $\frac{R_1}{3} < A < R_2$
<p>CONTINUITA'</p>	$R_x < R_i$ R_x all'interno di R_i ma non concentrico $A_{min} \leq A$ $\frac{R_i}{3} < A < R_x$
<p>RACCORDO TRA DUE CERCHI SECANTI CON ALTRO CERCHIO AUSILIARIO</p>	$A_1 \geq A_{min}$ $A_2 \geq A_{min}$ $\frac{R_3}{3} < A_1 < R_1$ $\frac{R_3}{3} < A_2 < R_2$ $\frac{2}{3} < \frac{A_1}{A_2} < \frac{3}{2}$



CRITERI PROGETTUALI DELLE STRADE

GEOMETRIA



ALTIMETRIA

- Il profilo altimetrico è costituito da tratti a pendenza costante (livелlette) collegati da raccordi verticali convessi e concavi.
- Le pendenze massime adottabili per i diversi tipi di strada sono:

TIPO DI STRADA		AMBITO URBANO	AMBITO EXTRAURBANO
AUTOSTRADA	A	6%	5%
EXTRAURBANA PRINCIPALE	B	-	6%
EXTRAURBANA SECONDARIA	C	-	7%
URBANA DISCORRIMENTO	D	6%	-
URBANA DI QUARTIERE	E	8%	-
LOCALE	F	10%	10%



CRITERI PROGETTUALI DELLE STRADE

GEOMETRIA

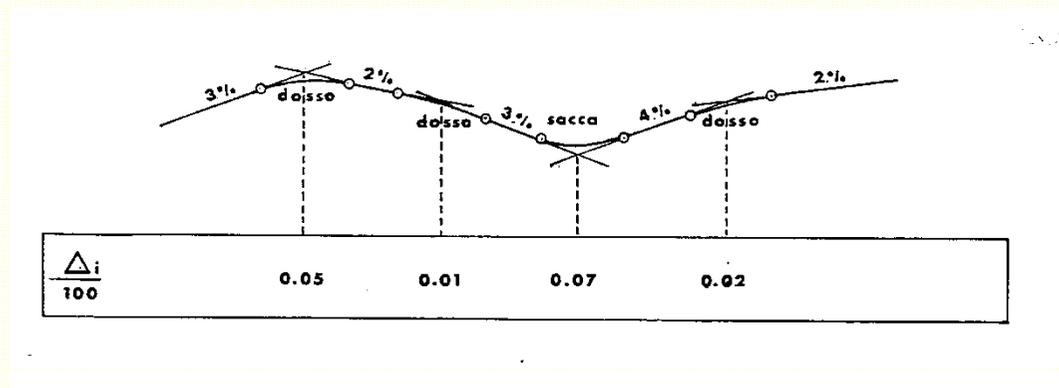


ALTIMETRIA

- ❖ **Raccordi verticali**
- ❖ Devono essere eseguiti con archi di parabola quadratica ad asse verticale, il cui sviluppo viene calcolato con l'espressione

$$L = R_v \times \frac{\Delta i}{100}$$

- ❖ dove Δi è la variazione di pendenza in percento delle livellette da raccordare ed R_v è il raggio del cerchio osculatore, nel vertice della parabola.



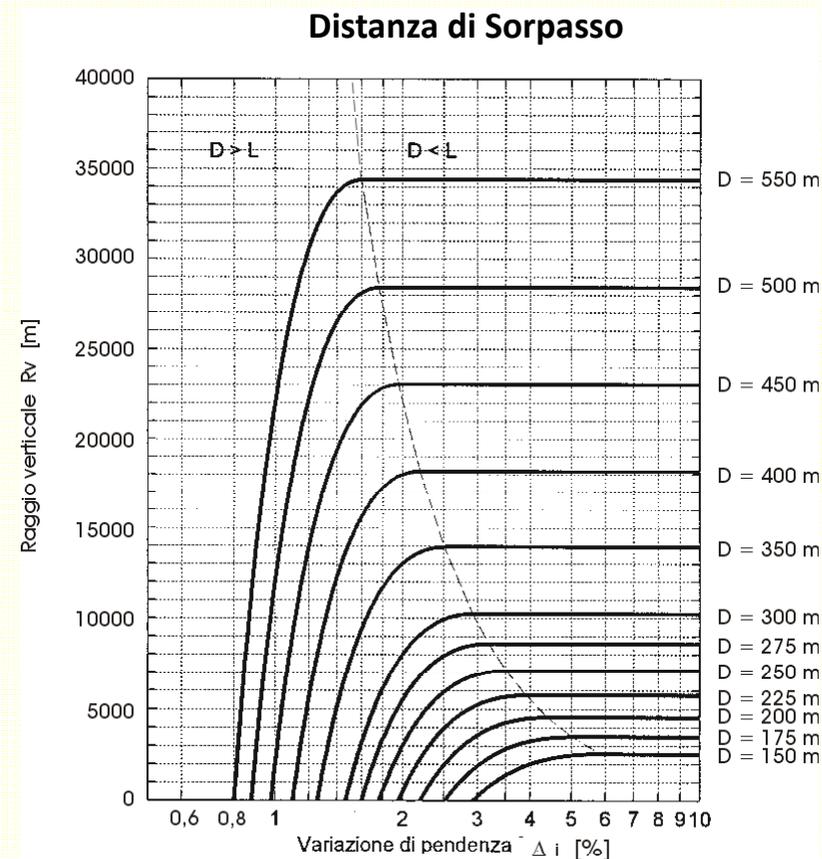
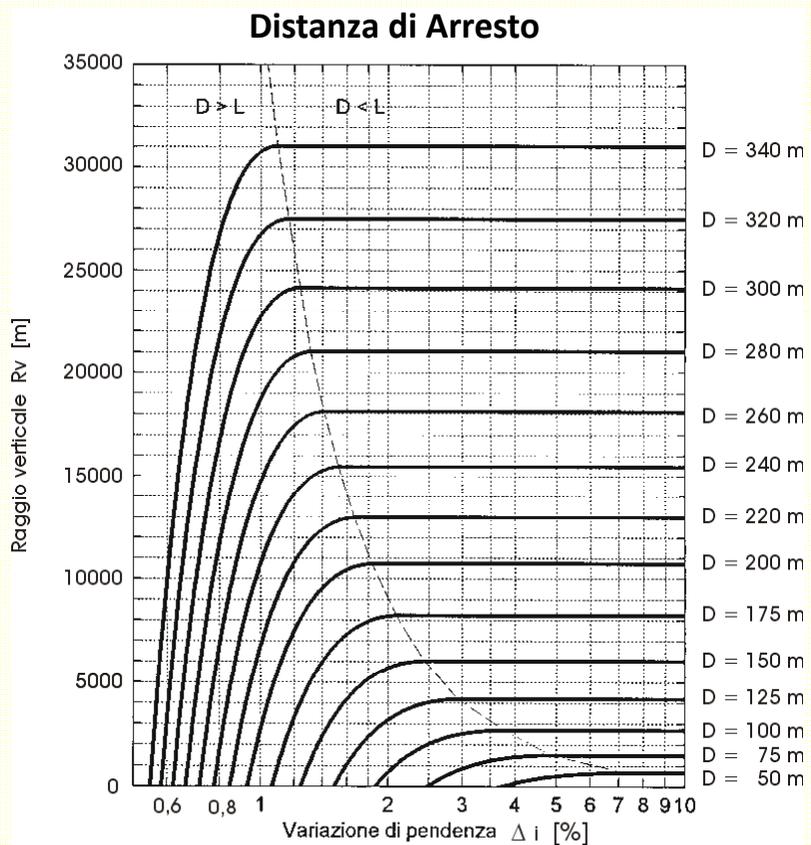
CRITERI PROGETTUALI DELLE STRADE

GEOMETRIA



ALTIMETRIA

Raccordi verticali convessi



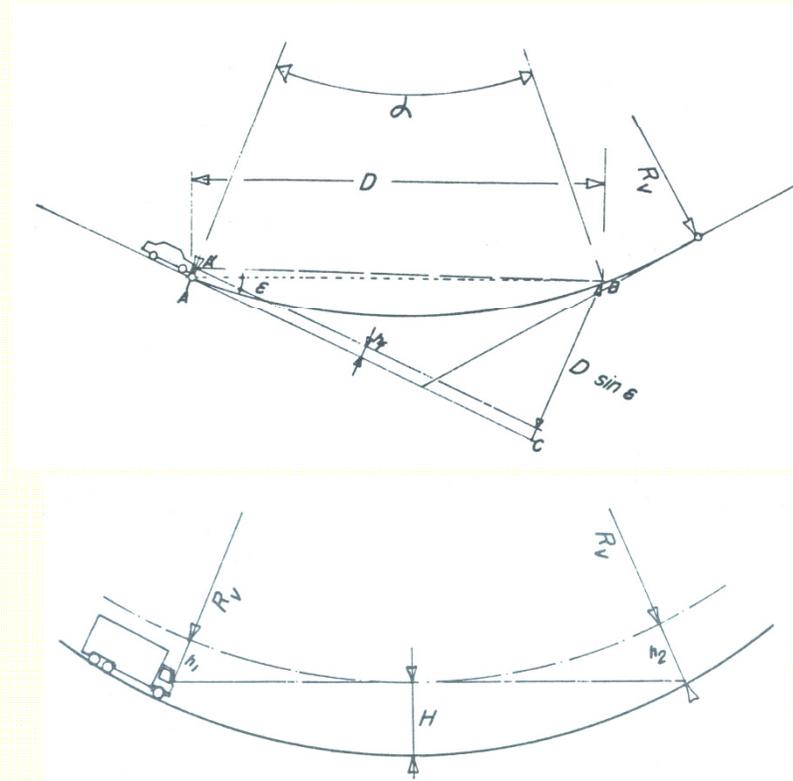
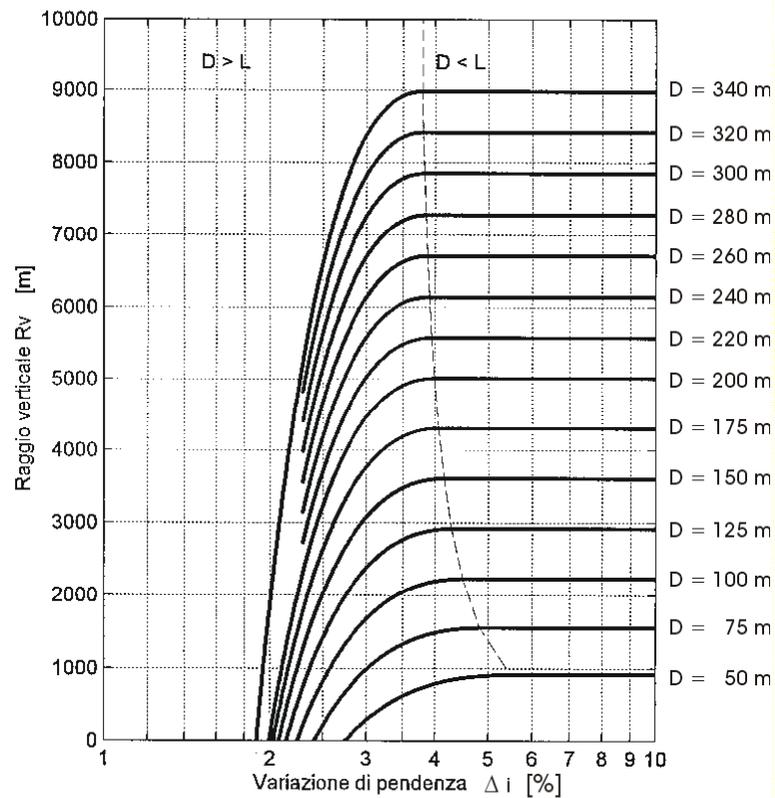
CRITERI PROGETTUALI DELLE STRADE GEOMETRIA



ALTIMETRIA

Raccordi verticali convessi

Distanza di Arresto



CRITERI PROGETTUALI DELLE STRADE

GEOMETRIA



COORDINAMENTO

- ✿ **COORDINAMENTO PLANO - ALTIMETRICO**
- ✿ Al fine di garantire una percezione chiara delle caratteristiche del tracciato stradale ed evitare variazioni brusche delle linee che lo definiscono nel quadro prospettico, occorre coordinare opportunamente l'andamento planoaltimetrico dell'asse con il profilo longitudinale. Un valido strumento di controllo di tale coerenza è fornito dalla rappresentazione prospettica del tracciato.
- ✿ pur non sottovalutando l'importanza della costruzione delle prospettive dinamiche del tracciato così come percepito dal guidatore (prospettive in funzione della velocità di percorrenza), si possono utilizzare **tre regole** che permettono di evitare degli errori di impostazione nel progetto.



CRITERI PROGETTUALI DELLE STRADE

GEOMETRIA



COORDINAMENTO

✿ COORDINAMENTO PLANO - ALTIMETRICO

1. un raccordo verticale deve essere inserito all'interno di un tracciato orizzontale avente caratteristiche omogenee ed il suo sviluppo deve essere quasi equivalente a quello del tratto orizzontale omogeneo;
2. se un raccordo verticale convesso (dosso) è inserito in un elemento di tracciato orizzontale curvo è opportuno che il raccordo verticale inizi dopo una deviazione di circa 3° dell'arco di clotoide che precede la curva circolare;
3. in un tracciato orizzontale privo di rettifili (che presenti dei punti di flesso) il corrispondente profilo longitudinale:
 - a) se costituito da raccordi concavi e convessi con brevi livellette deve avere i punti terminali dei raccordi concavi molto prossimi ai punti di flesso del tracciato orizzontale
 - b) se costituito da soli elementi curvilinei, senza livellette, i punti di flesso del profilo devono coincidere con quelli del tracciato planimetrico.



CRITERI PROGETTUALI DELLE STRADE

GEOMETRIA



COORDINAMENTO

✿ COORDINAMENTO PLANO – ALTIMETRICO

- ✿ Nella pratica, mancando quasi del tutto dei percorsi completamente curvilinei, la regola 3. non è frequentemente applicabile.
- ✿ La regola 1. implica la distinzione sul tracciato dei tratti «omogenei» (per verso di curvatura), costituiti da rettifili da un lato e dai tratti a curvatura fissa con le curve a raggio variabile associate dall'altro, e l'attenzione a dimensionare il raccordo verticale con una lunghezza il più possibile simile al tratto omogeneo planimetrico su cui insiste.
- ✿ La regola 2. serve a garantire il guidatore da «sorprese»: prima di affrontare un dosso deve sapere con certezza che si troverà a percorrerlo su un tracciato curvilineo con una curvatura che sarà sicuramente a destra o a sinistra.
- ✿ Le Norme riportano una serie di regole di corretta impostazione ed errori da evitare per il posizionamento dei raccordi verticali in rapporto all'andamento planimetrico. Queste vengono riportate nella Tabella insieme al riferimento alle tre regole di composizione indicate.



CRITERI PROGETTUALI DELLE STRADE

GEOMETRIA



COORDINAMENTO

✿ COORDINAMENTO PLANO – ALTIMETRICO

Situazione	Regola
Quando un raccordo verticale è situato in un tratto ad andamento rettilineo ed è sufficientemente distante dai punti di tangenza delle curve planimetriche, la percezione del tracciato è corretta.	1.
Se non è possibile evitare la sovrapposizione dei due elementi curvilinei, è opportuno far coincidere il vertice del raccordo verticale con quello della curva planimetrica. In tal caso, il risultato ottimale dal punto di vista ottico lo si ottiene se la lunghezza dei due raccordi è dello stesso ordine.	1.
Nei tratti con andamento planimetrico sinuoso è opportuno evitare cambiamenti di pendenza longitudinale	3.
Occorre evitare che il punto di inizio di una curva planimetrica coincida o sia prossimo con la sommità di un raccordo verticale convesso. Se ciò si verifica, risulta mascherato il cambiamento di direzione in planimetria.	2.
Occorre evitare che un raccordo planimetrico inizi immediatamente dopo un raccordo concavo. Se ciò si verifica la visione prospettica dei cigli presenta una falsa piega.	p.d.t
Occorre evitare l'inserimento di raccordi verticali concavi di piccolo sviluppo all'interno di curve planimetriche di grande sviluppo. In questo caso, la visione prospettica di uno dei cigli presenta difetti di continuità. Per correggere tale difetto occorre aumentare il più possibile il rapporto R_v/R in modo che gli sviluppi dei due raccordi coincidano.	1.
Occorre evitare il posizionamento di un raccordo concavo immediatamente dopo la fine di una curva planimetrica. Anche in questo caso nelle linee di ciglio si presentano evidenti difetti di continuità ed inoltre si percepisce un restringimento della larghezza della sede stradale che può indurre l'utente ad adottare comportamenti non rispondenti alla reale situazione del tracciato. Questo difetto può essere ancora corretto portando a coincidere i vertici dei due elementi.	1.
Occorre evitare che il vertice di un raccordo concavo coincida o sia prossimo ad un punto di flesso della linea planimetrica. Anche in questo caso la visione prospettica è falsata e l'utente percepisce un falso restringimento della larghezza della sede stradale. Per ovviare a tale difetto si provvede come nel caso precedente.	1.



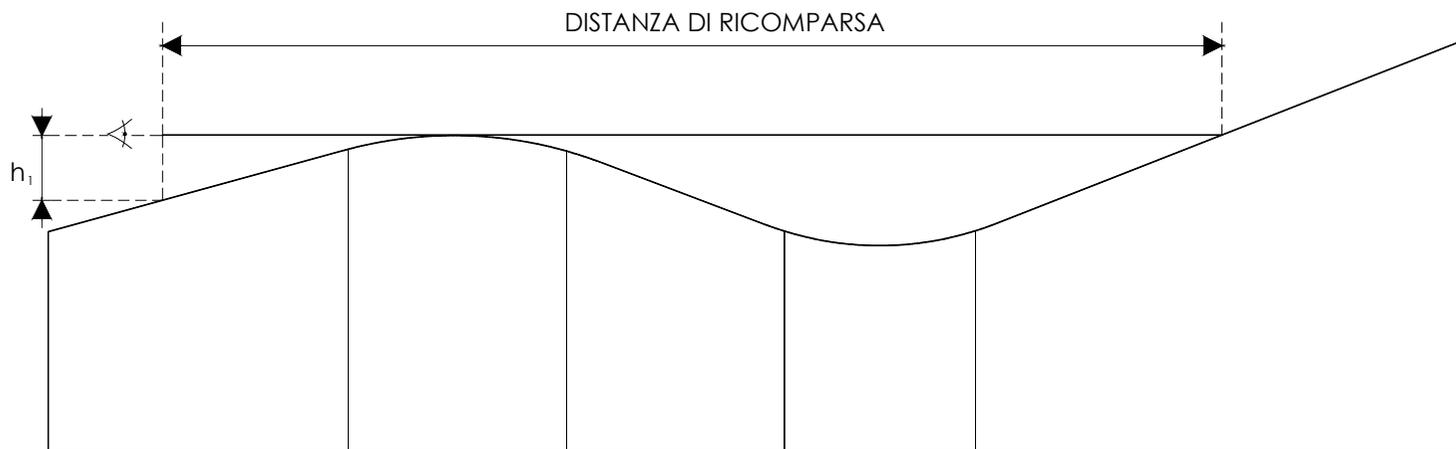
CRITERI PROGETTUALI DELLE STRADE

GEOMETRIA



COORDINAMENTO

- ❖ **Perdita di tracciato**
- ❖ Quando un raccordo concavo segue un raccordo convesso, nel quadro prospettico dell'utente può rimanere mascherato un tratto intermedio del tracciato. Si definisce questa situazione come «perdita di tracciato».



CRITERI PROGETTUALI DELLE STRADE

GEOMETRIA



COORDINAMENTO

- ❖ **Perdita di tracciato**
- ❖ Questa perdita può disorientare l'utente quando il tracciato ricompare ad una **distanza inferiore** a quella riportata nella tabella:

Velocità [km/h]	25	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140
Distanza di ricomparsa [m]	150	180	220	280	350	420	500	560	640	720	800	860



CRITERI PROGETTUALI DELLE STRADE

GEOMETRIA



VERIFICHE
FUNZIONALI

- ❖ **Diagramma delle velocità**
- ❖ La Normativa 2001 definisce univocamente il diagramma di velocità di progetto come *la rappresentazione grafica dell'andamento della velocità di progetto in funzione della progressiva dell'asse stradale* ed indica secondo quali criteri esso vada costruito.
- ❖ Da una parte il comportamento reale degli utenti, dall'altra le modifiche al Codice della Strada fanno riflettere sui limiti superiori degli intervalli di velocità riportati nelle stesse norme.
- ❖ Secondo le indicazioni del CNR il diagramma di **velocità di progetto** va costruito sulla base del solo tracciato planimetrico, calcolando per ogni elemento di esso l'andamento della velocità di progetto, che deve essere contenuta nei limiti dell'intervallo di velocità di progetto.
- ❖ Diagramma di **velocità attuate** costruito in funzione di relazioni sperimentali (dove esse esistono) che legano l'85° percentile della distribuzione delle velocità misurate ad alcuni parametri del tracciato stradale.



CRITERI PROGETTUALI DELLE STRADE

GEOMETRIA



VERIFICHE
FUNZIONALI

- **Diagramma delle velocità**
- La verifica della correttezza della progettazione comporta la redazione del diagramma di velocità per ogni senso di circolazione.
- Il modello semplificato di variazione della velocità lungo il tracciato si basa sulle seguenti ipotesi:
 - in rettilineo, sugli archi di cerchio con raggio non inferiore a $R_{2,5}$, e nelle clotoidi, la velocità di progetto tende al limite superiore dell'intervallo; gli spazi di accelerazione conseguenti all'uscita da una curva circolare, e quelli di decelerazione per l'ingresso a detta curva, ricadono soltanto negli elementi considerati (rettilineo, curve ampie con $R > R_{2,5}$ e clotoidi);
 - la velocità è costante lungo tutto lo sviluppo delle curve con raggio inferiore a $R_{2,5}$, e si determina dagli abachi $R(V, \text{tg } \alpha)$;
 - i valori dell'accelerazione e della decelerazione restano determinati in 0.8 m/s^2 ;
 - si assume che le pendenze longitudinali non influenzino la velocità di progetto.



CRITERI PROGETTUALI DELLE STRADE

GEOMETRIA



VERIFICHE
FUNZIONALI

- Diagramma delle velocità
- La **lunghezza di transizione** D_T è la lunghezza in cui la velocità, conformemente al modello teorico ammesso, passa dal valore V_n a quello V_{n+1} , competenti a due elementi che si succedono.

- D_T (in metri) è dato da

$$D_T = \frac{v_n^2 - v_{n+1}^2}{2 \cdot a}$$

$$D_T = \frac{V_n^2 - V_{n+1}^2}{3.6^2 \cdot 2 \cdot a}$$

$$D_T = 0.048 \cdot (V_n^2 - V_{n+1}^2)$$



CRITERI PROGETTUALI DELLE STRADE

GEOMETRIA



VERIFICHE
FUNZIONALI

- **Diagramma delle velocità**
- Per **distanza di riconoscimento** D_r s'intende la lunghezza massima del tratto di strada entro il quale il conducente può riconoscere eventuali ostacoli e avvenimenti. Essa è funzione della velocità e può essere calcolata in metri con la relazione:

$$D_r = t \times v_p$$

$$D_r = t \times \frac{V_p}{3.6}$$

- $t = 12 \text{ s}$
- V_p è da intendersi riferita all'elemento di raggio maggiore



CRITERI PROGETTUALI DELLE STRADE GEOMETRIA

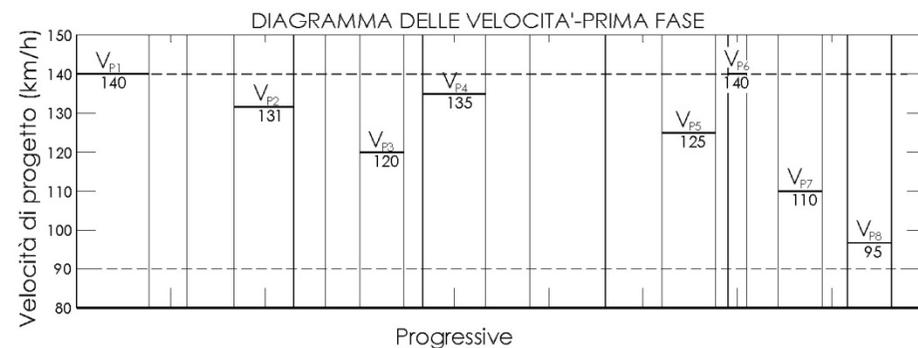
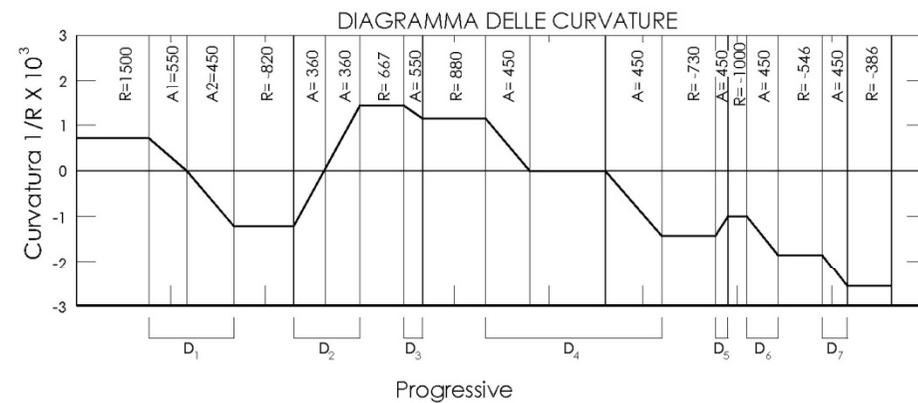


VERIFICHE
FUNZIONALI

❖ Diagramma delle velocità

❖ Si parte dal diagramma delle curvature

❖ Si iniziano a segnare le velocità nei tratti a curvatura costante



CRITERI PROGETTUALI DELLE STRADE

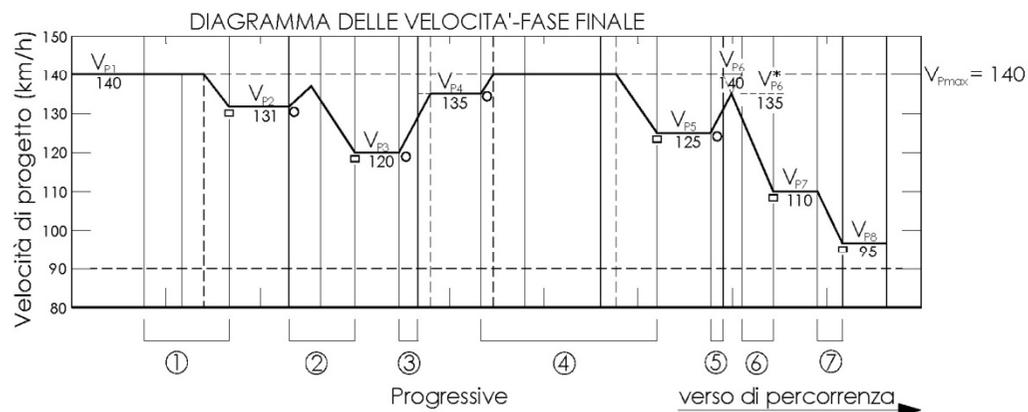
GEOMETRIA



VERIFICHE
FUNZIONALI

Diagramma delle velocità

Si completa con le
lunghezze di transizione e
le verifiche



①	$V_{Pmax} = V_{P1} > V_{P2}$	$D_1 > D_T$	D_1 lunghezza di transizione per decelerare da V_{P1} a V_{P2}	$V_{P1} - V_{P2} \leq 10$ accett.
②	$V_{Pmax} > V_{P2} > V_{P3}$	$D_2 > D_T$	D_2 lunghezza di transizione per decelerare da V_{P2} a V_{P3}	$V_{P2} - V_{P3} \leq 20$ accett.
③	$V_{P3} < V_{P4} < V_{Pmax}$	$D_3 < D_T$	D_1 lunghezza di transizione per accelerare da V_{P3} a V_{P4}	$V_{P4} - V_{P3} \leq 20$ accett.
④	$V_{Pmax} > V_{P4} > V_{P5}$	$D_4 > (D_{T4} + D_{T5})$	D_{T4} lunghezza di transizione per accelerare da V_{P4} a V_{Pmax} D_{T5} lunghezza di transizione per decelerare da V_{Pmax} a V_{P5}	$V_{P4} - V_{P5} \leq 20$ accett. $V_{Pmax} - V_{P5} > 10$ non acc.
⑤	$V_{P5} < V_{P6}^* < V_{Pmax}$	$D_5 < D_T$	D_1 lunghezza di transizione per accelerare da V_{P5} a V_{Pmax}	$V_{P6}^* - V_{P5} \leq 20$ accett.
⑥	$V_{Pmax} > V_{P6}^* > V_{P7}$	$D_6 < D_T$	D_1 lunghezza di transizione per decelerare da V_{Pmax} a V_{P7}	$V_{P6}^* - V_{P7} > 20$ non acc.
⑦	$V_{Pmax} > V_{P7} > V_{P8}$	$D_7 = D_T$	D_1 lunghezza di transizione per decelerare da V_{P7} a V_{P8}	$V_{P7} - V_{P8} \leq 20$ accett.



CRITERI PROGETTUALI DELLE STRADE

GEOMETRIA



VERIFICHE
FUNZIONALI

- ❖ **Diagramma delle velocità: verifiche**
- ❖ Per $V_{pmax} \geq 100$ km/h (autostrade, strade extraurbane principali e secondarie) nel passaggio da tratti caratterizzati dalla V_{pmax} a curve a velocità inferiore, la differenza di velocità di progetto non deve superare 10 km/h. Inoltre, fra due curve successive tale differenza, comunque mai superiore a 20 km/h, è consigliabile che non superi i 15 km/h.
- ❖ Per gli altri tipi di strade ($V_{pmax} \leq 80$ km/h) nel passaggio da tratti caratterizzati dalla V_{pmax} a curve a velocità inferiore, la differenza di velocità non deve superare 5 km/h. Inoltre, fra due curve successive tale differenza, comunque mai superiore a 20 km/h, è consigliabile che non superi i 10 km/h.
- ❖ Poiché si tratta di una **verifica globale** sulle scelte puntuali dei vari elementi di un tracciato, nel caso **le condizioni non siano verificate**, anche solo in singole parti, occorrerà **riprendere la geometria** di interi tratti.



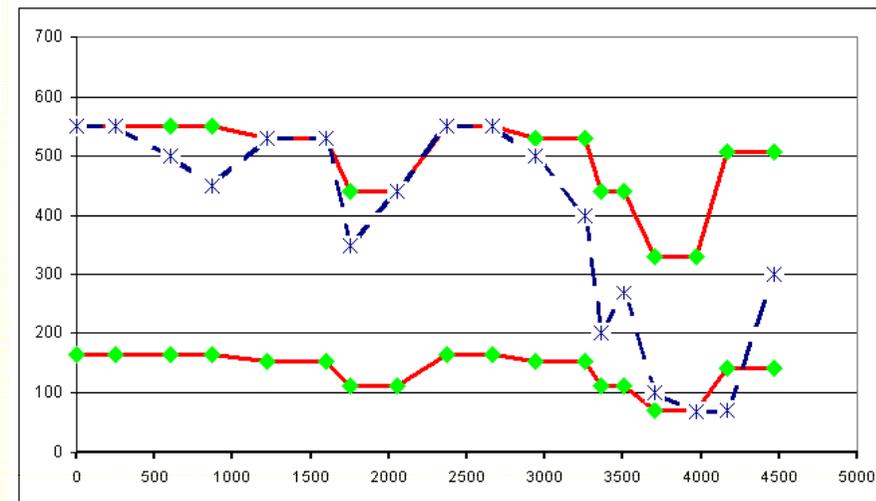
CRITERI PROGETTUALI DELLE STRADE

GEOMETRIA



VERIFICHE
FUNZIONALI

- ❖ **Diagramma delle visibilità**
- ❖ A partire dal diagramma delle velocità si traccia il **diagramma delle visibilità** di sicurezza necessarie sul tracciato, tutte proporzionali alla velocità.
- ❖ Il **limite inferiore** del diagramma è costituito dalla spezzata delle distanze di arresto. Nei tratti in cui è necessario tale limite è costituito dalla distanza di cambio di corsia (prossimità di incroci, svolte etc.). Il **limite superiore**, per una strada a carreggiata unica e due corsie, è quello costituito dalla spezzata della distanza di sorpasso.



CRITERI PROGETTUALI DELLE STRADE

GEOMETRIA



IPOTESI

IPOTESI DI TRACCIATO

SCALA 1:5.000

