



**UNIVERSITA' DEGLI STUDI "MEDITERRANEA" DI REGGIO CALABRIA
FACOLTA' DI INGEGNERIA**

**LAUREA MAGISTRALE
INGEGNERIA CIVILE**

**CORSO DI
INFRASTRUTTURE AEROPORTUALI ED ELIPORTUALI**

**LECTURE 12
CRITERI DI VALUTAZIONE DELL' AGIBILITA' DELLE PISTE**

Docente: Ing. Marinella GIUNTA

AGIBILITA' DELLE PISTE DI VOLO

Valutare l'agibilità di una pista significa verificarne l'attitudine ad accogliere un dato tipo di aereo e/o individuare le condizioni limite nelle quali quest'ultimo può usufruire delle infrastrutture.

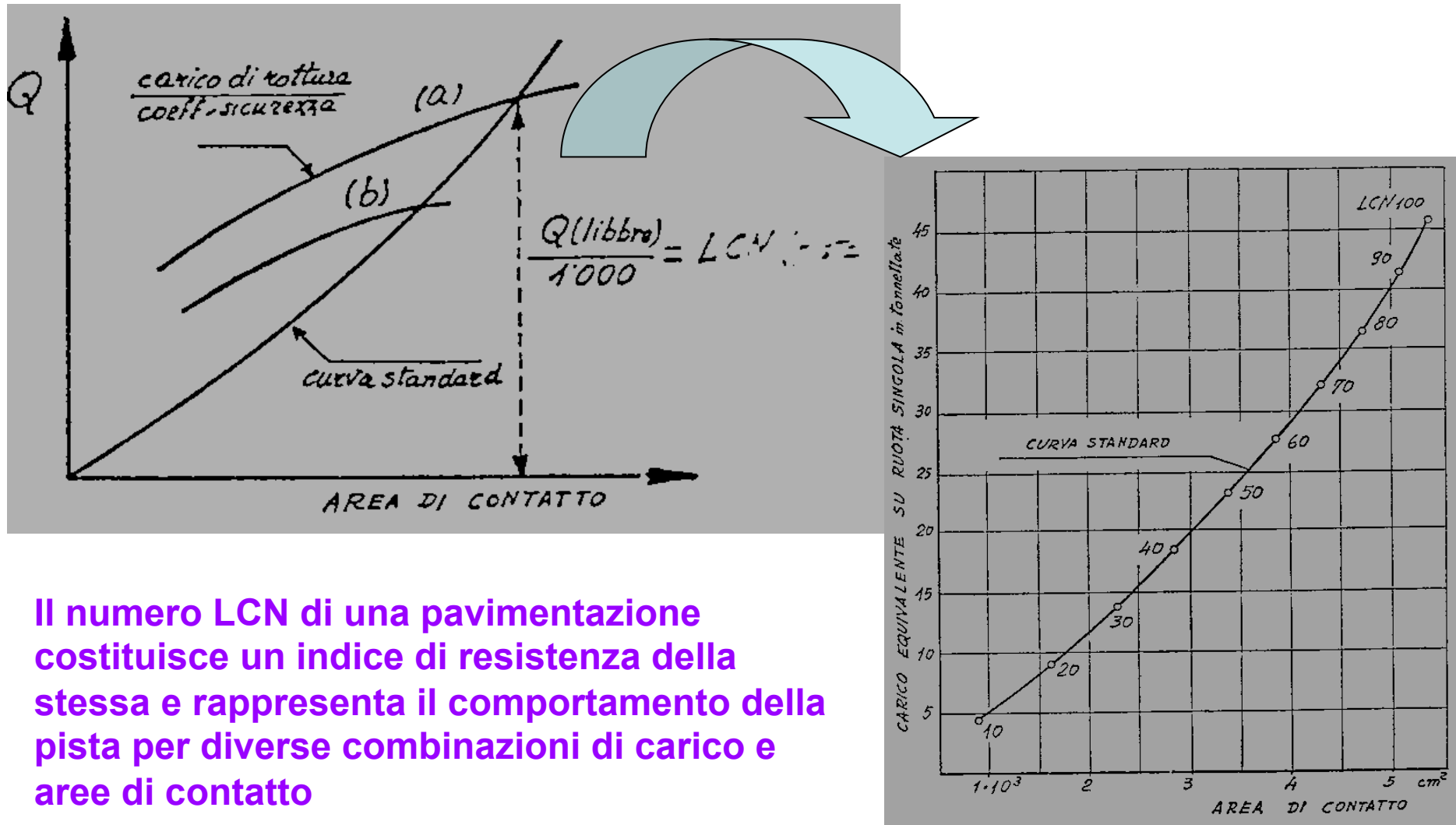
METODI DI VALUTAZIONE DELL'AGIBILITA'

- ❖ METODO LCN (Load Classification Number)
- ❖ METODO ACN-PCN (Aircraft Classification Number / Pavement Classification Number)

METODO LCN

Secondo questo metodo si determina il valore di LCN (Load Classification Number) della pavimentazione e si confronta con il valore di LCN dell'aereo.

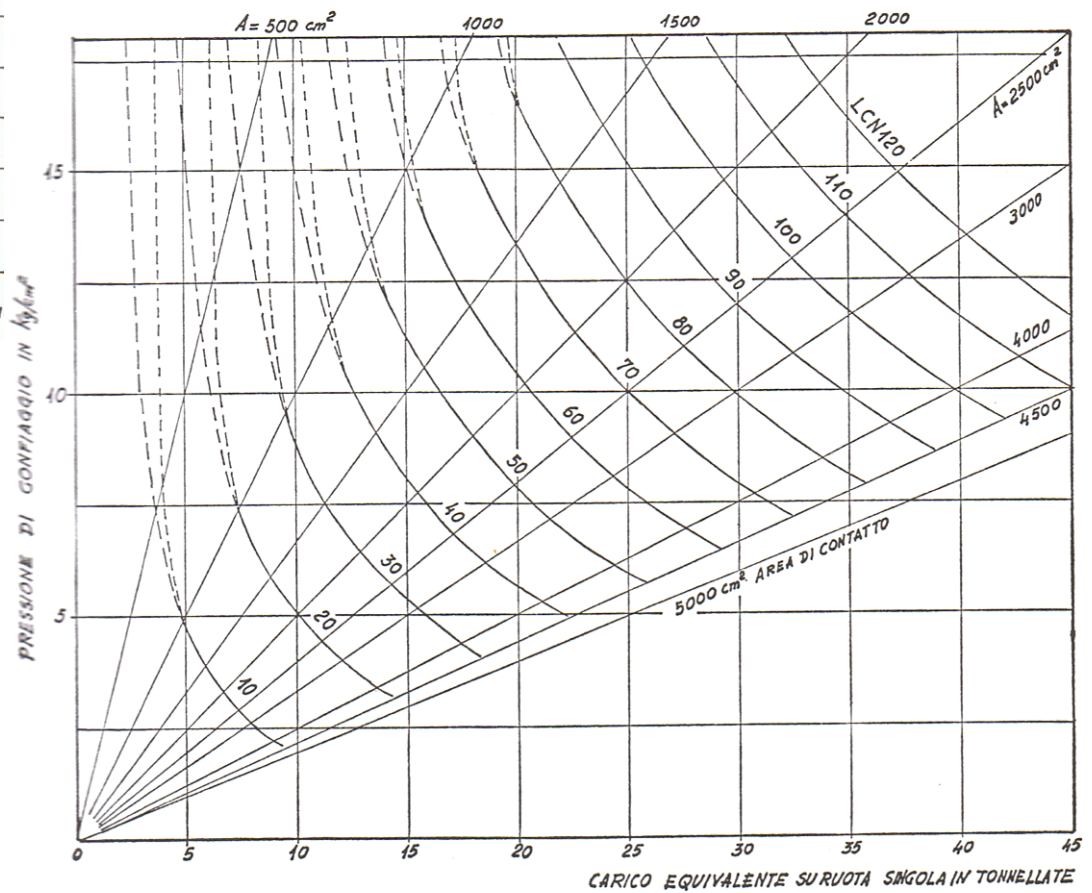
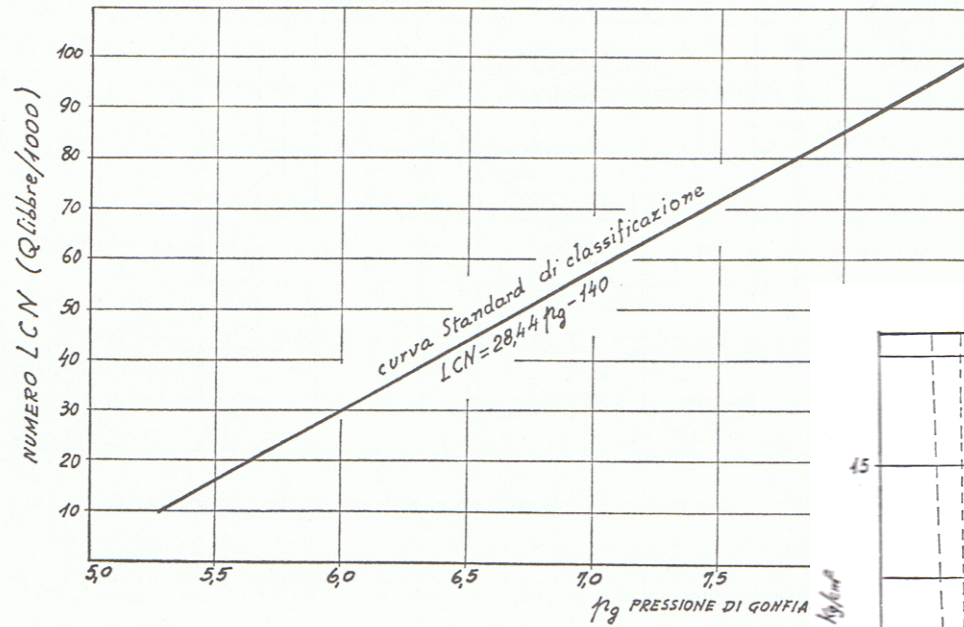
Determinazione numero LCN della pavimentazione



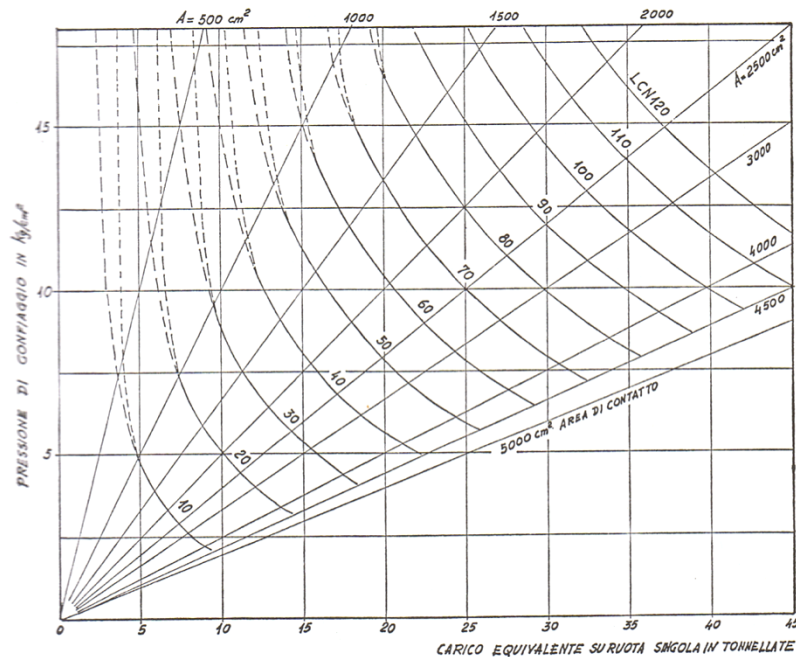
Il numero LCN di una pavimentazione costituisce un indice di resistenza della stessa e rappresenta il comportamento della pista per diverse combinazioni di carico e aree di contatto

METODO LCN

Curva standard



METODO LCN



Sfruttando tale diagramma il numero LCN della pista può essere determinato in base ad una coppia di valori (A, Q) relativa ai risultati delle prove di carico. Q è IL CARICO DI SICUREZZA

Le norma ICAO fissano che :

PER PAVIMENTAZIONI RIGIDE Q è il rapporto tra carico di rottura e coefficiente di sicurezza posto pari a 1,5.

PER PAVIMENTAZIONI FLESSIBILI Q è il carico che produce una freccia di 5 mm dopo 10.000 ripetizioni

METODO LCN

Disposizione ruote	Tipo di aereo	Peso totale (t)	Pressione di gonfiaggio (MPa)	Numero LCN								
				Pav. rigide			Pavimentazioni flessibili					
				l (cm)			spessore totale s _r (cm)					
				76	89	102	25	38	51	64	76	102
Ruote doppio tandem	Boeing 707-320	135,30	1,13	60	67	73	59	65	70	76	81	92
		114,90		51	57	62	49	55	60	66	71	81
		94,40		41	47	52	38	44	50	55	60	69
		74,00		32	36	40	30	35	40	44	48	56
	Britannia 300	81,70	0,99	42	46	49	37	44	51	55	59	67
		72,60		38	41	44	33	39	46	50	53	60
		63,60		33	36	38	28	34	40	44	47	53
		54,50		29	31	32	23	29	34	38	41	47
	Caravelle	45,40	0,87	27	29	30	29	33	37	39	41	44
		40,90		24	26	28	25	29	33	35	37	41
		31,80		17	18	20	18	22	25	27	28	32
	Comet IV B	71,70	1,06	46	49	51	43	49	55	59	62	68
		62,70		39	42	44	37	42	48	51	54	60
		53,60		32	35	37	30	35	40	43	46	52
	Convair 880	84,00	1,04	51	54	56	51	60	69	75	81	92
		74,90		45	48	51	45	54	62	68	73	84
		65,80		39	43	46	39	47	54	60	65	76
		56,80		33	37	40	32	40	47	53	58	68
	DC-8 Intercontinental	140,70	1,10	66	74	81	62	71	80	86	91	102
		118,00		57	63	68	52	61	69	75	80	90
95,30		48		52	55	42	50	57	63	68	78	
72,60		39		41	43	32	39	46	51	55	64	

LCN di alcuni aerei in funzione del raggio di rigidità per pavimentazioni rigide e dello spessore totale per pavimentazioni flessibili

$$l = 4 \sqrt{\frac{Es^3}{12(1-\mu^2)K}}$$

METODO LCN

CRITERI DI UTILIZZAZIONE

1,10 LCN pista < LCN aereo < 1,25 LCN pista

Si possono ammettere fino a 3000 movimenti

1,25 LCN pista < LCN aereo < 1,50 LCN pista

Si possono ammettere fino a 300 movimenti, leggeri danni alla pavimentazione

1,50 LCN pista < LCN aereo < 2,00 LCN pista

Numero minimo di movimenti

LCN aereo > 2,00 LCN pista

E' ammessa l' utilizzazione solo in casi di emergenza

METODO ACN-PCN

ACN = Aircraft Classification Number

Numero che esprime l'effetto di un dato aeromobile sulla pavimentazione per dato standard di portanza del sottofondo

PCN = Pavement Classification Number

Numero che esprime la capacità portante della pavimentazione per un numero abbastanza elevato di operazioni sulla pista (per pavimentazioni flessibili si assume un numero di operazioni pari a 10.000)

METODO ACN-PCN

**Il metodo definisce bene il modo di determinare il numero ACN
mentre definisce dei criteri soltanto per determinare il PCN**

**Per dato aeromobile le case costruttrici sono tenute a fornire il valore
di ACN per diverse condizioni :**

1. PAVIMENTAZIONI RIGIDE O FLESSIBILI

**2. CONDIZIONE DI CARICO MASSIMO AL DECOLLO E CARICO
OPERATIVO A VUOTO**

3. QUATTRO CONDIZIONI DI PORTANZA

elevata portanza $K = 150 \text{ MN/m}^3$ ($K > 120 \text{ MN/m}^3$) o $\text{CBR} = 15$ ($\text{CBR} > 13$)

media portanza $K = 80 \text{ MN/m}^3$ ($60 < K < 120 \text{ MN/m}^3$) o $\text{CBR} = 10$ ($8 < \text{CBR} < 13$)

bassa portanza $K = 40 \text{ MN/m}^3$ ($25 < K < 60 \text{ MN/m}^3$) o $\text{CBR} = 6$ ($4 < \text{CBR} < 8$)

scarsa portanza $K = 20 \text{ MN/m}^3$ ($K < 25 \text{ MN/m}^3$) o $\text{CBR} = 3$ ($\text{CBR} < 4$)

4. TENSIONE DI LAVORO CALCESTRUZZO $\sigma_t = 27,5 \text{ Kg/cm}^2$

5. PRESSIONE DI GONFIAGGIO $1,25 \text{ MPa}$

METODO ACN-PCN

Con i dati di cui sopra è possibile impostare un calcolo matematico che definisce il carico di un dato aereo agente su ruota singola in base alla portanza del sottofondo individuata dalle quattro categorie proposte.

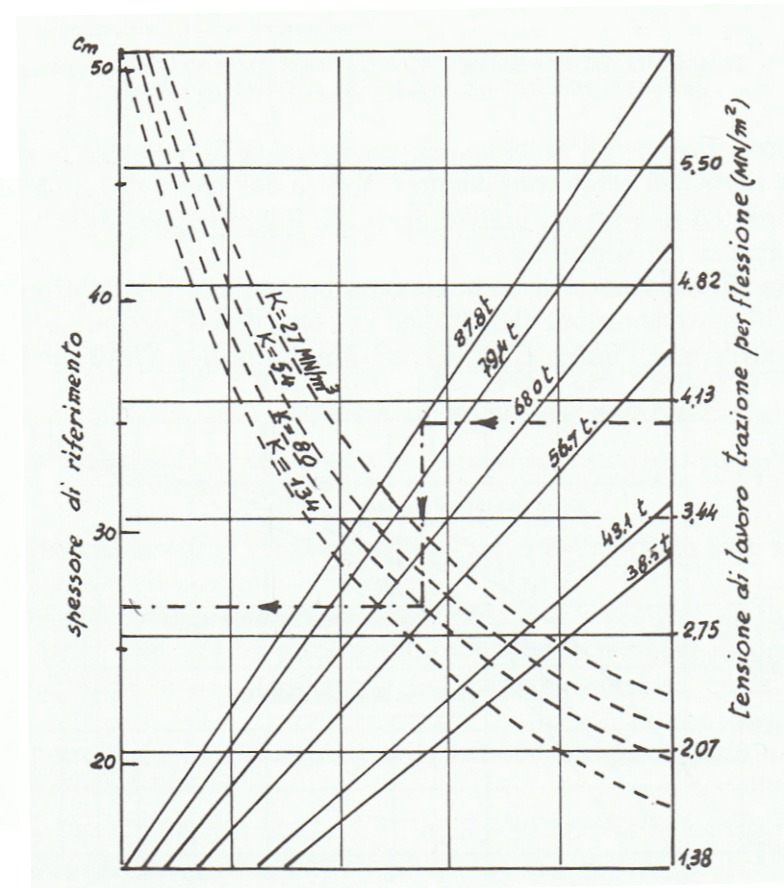
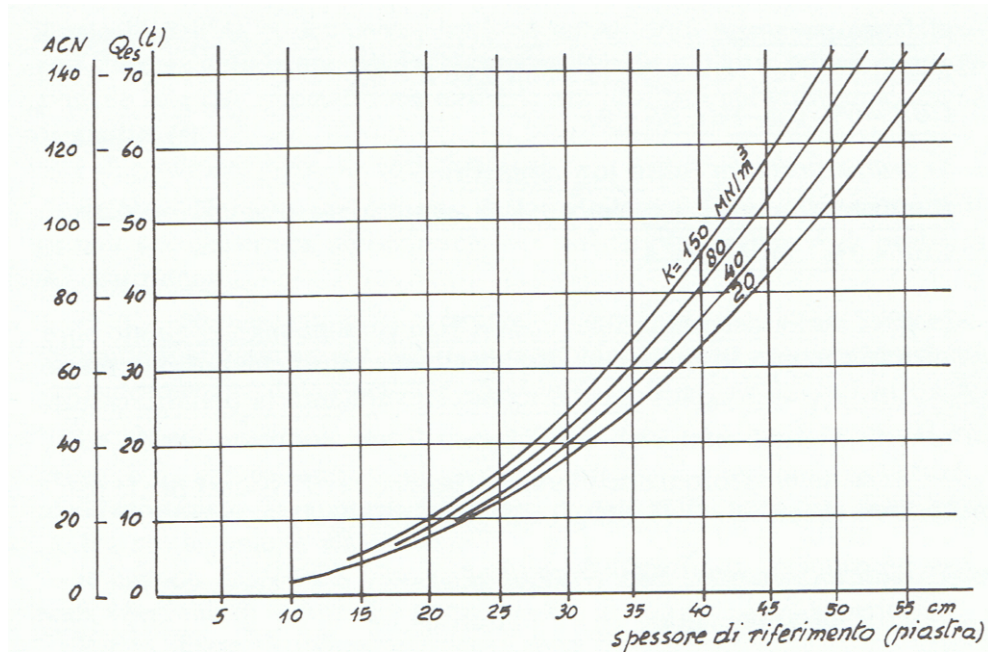
Il carico su ruota singola equivalente, con tale procedimento, non è riferito all'effettivo spessore della sovrastruttura, ma ad uno **spessore di riferimento**, definito in base al tipo di aereo (disposizione del carrello e delle ruote nella gamba di forza), al carico ed alla posizione del baricentro di massa.

Il valore di ACN è stabilito numericamente dal doppio del carico su ruota singola equivalente espresso in tonnellate.

METODO ACN-PCN

Determinazione dell' ACN per pavimentazioni rigide

Determinazione dell' ACN in funzione dello spessore di riferimento s_1 della piastra rigida e del modulo K del sottofondo

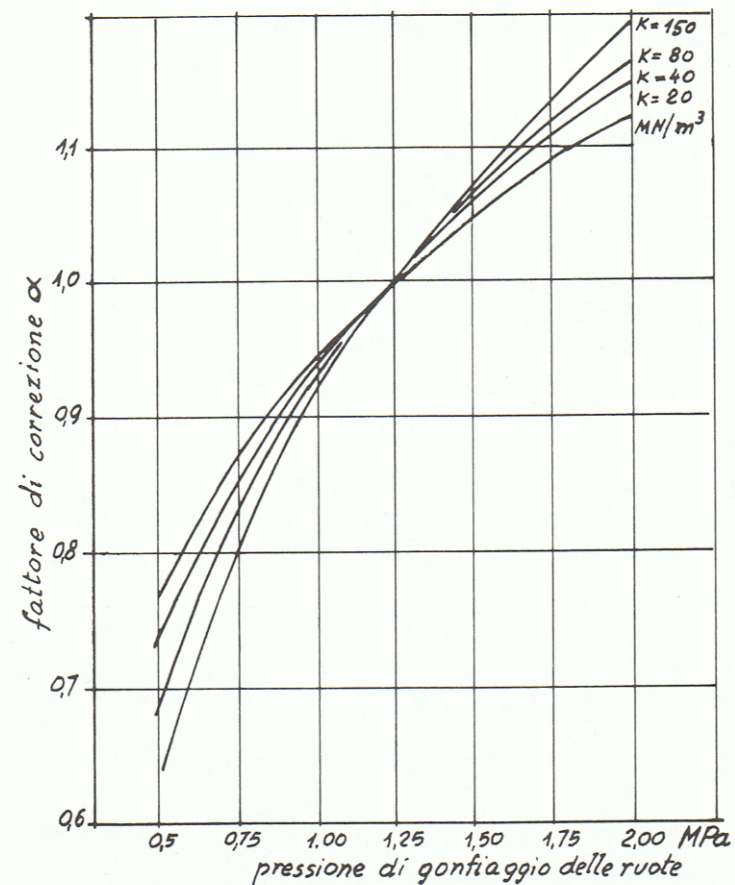


Determinazione di s_1 per l' aereo B727-200 in funzione di K (modulo di reazione del sottofondo) e del carico dell' aereo

METODO ACN-PCN

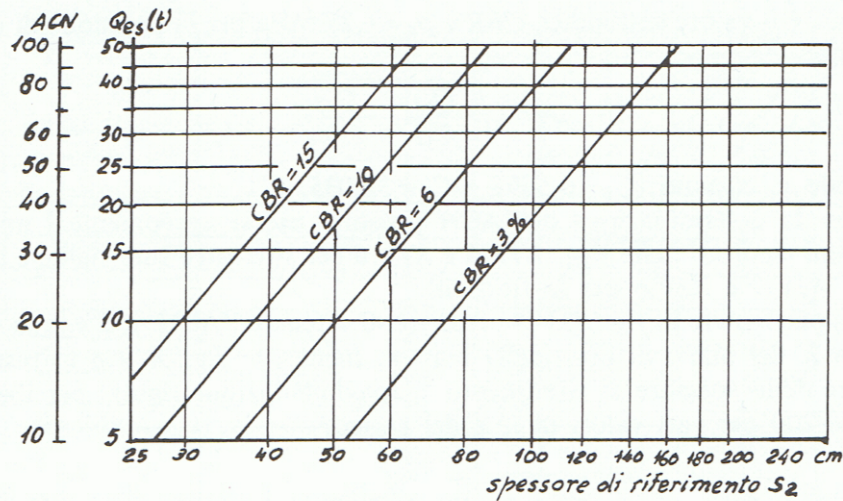
Determinazione dell' ACN per pavimentazioni rigide

Fattore correttivo del numero ACN per
pressione di gonfiaggio diversa
da quella standard di 1,25 MPa

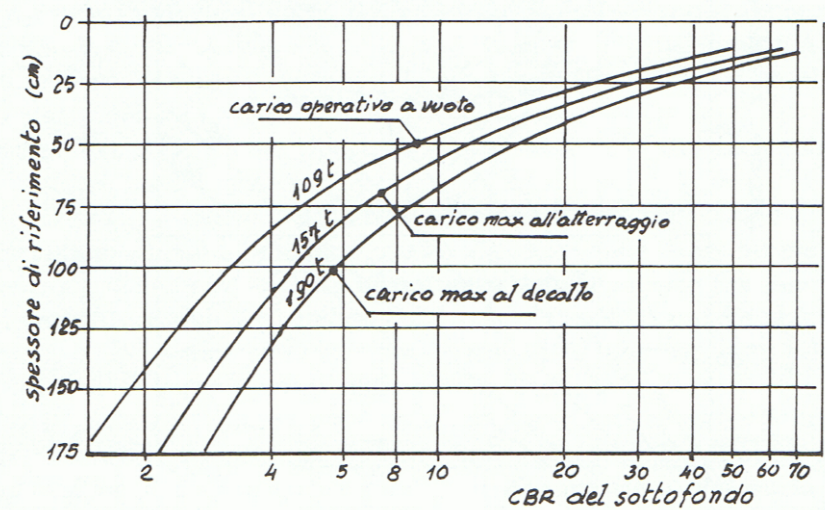


METODO ACN-PCN

Determinazione dell' ACN per pavimentazioni flessibili



Determinazione dell' ACN in funzione dello spessore di riferimento s_2 e dell' indice CBR



Determinazione di s_2 per l' aereo DC 10-10 in funzione del CBR del sottofondo e del carico dell' aereo

METODO ACN-PCN

**Valori
dell' ACN di
alcuni aerei**

Tipo di aereo	Carico massimo al decollo Carico operat. a vuoto (t)	% di carico su una gamba di forza	Pressione di gonfiaggio (MPa)	VALORI ACN							
				Sovrastrutture rigide				Sovrastrutture flessibili			
				Modulo K in MN/m ³				Indice CBR			
				150	80	40	20	15	10	6	3
Airbus A 300 modello 84	157,000	46,5	1,41	44	52	61	69	46	51	62	79
	87,326			20	23	27	32	22	23	27	35
B 727-200 standard	78,471	46,2	1,15	45	48	50	53	40	42	48	53
	44,293			23	24	26	27	20	21	23	27
B 727-200 modificato	84,277	46,7	1,02	43	51	54	57	44	46	53	58
	44,270			22	24	26	27	20	21	24	28
B 727 modificato	86,636	46,6	1,02	50	53	56	58	46	48	55	60
	44,347			22	24	25	27	20	21	23	28
B 737-200	52,616	45,5	0,63	24	26	29	31	24	26	29	34
	27,293			11	12	13	14	10	11	13	15
B 747-100	323,410	23,4	1,50	41	48	57	65	44	48	58	78
	162,385			18	19	22	26	19	20	22	28
B 747-100 B	334,749	23,4	1,56	43	50	59	68	46	50	60	80
	173,036			19	21	24	28	20	21	24	31
B 747-100 B	341,553	23,4	1,32	42	49	59	68	46	51	62	82
	174,870			18	20	23	27	20	21	23	30
B 747-200 C	373,505	23,4	1,30	47	55	66	76	52	58	71	92
	166,749			17	19	22	26	19	20	22	29
B 767-200	141,520	46,9	1,26	33	38	46	53	37	40	48	66
	80,800			17	19	22	25	19	20	22	28
DC 8-62	160,121	46,5	1,29	47	56	65	73	49	56	67	83
	65,025			15	16	19	22	16	16	18	24
DC 9-81	63,958	47,3	1,17	41	43	45	46	36	38	42	46
	42,638			25	27	28	29	22	23	26	29
DC 9-82	67,133	47,65	1,24	44	46	48	49	38	41	45	49
	44,755			27	28	30	31	23	24	27	31
DC 10-10	190,406	47,15	1,28	45	52	63	73	52	57	68	93
	108,940			23	25	28	33	26	27	30	38
DC 10-40	253,105	37,7	1,17	44	53	64	75	53	59	70	97
	122,567			20	21	24	28	22	23	26	32
L 1011-1	195,952	47,4	1,33	45	52	62	73	52	56	66	91
	108,962			24	25	28	33	25	27	29	38
L1011-100/200	212,281	46,8	1,21	46	55	66	78	56	61	73	100
	110,986			23	24	28	32	25	26	30	38

METODO ACN-PCN

CRITERI DI VALUTAZIONE DEL PCN:

METODO ANALITICO: si risale alla portanza della sovrastruttura sulla base degli elaborati grafici di progetto e delle indagini di supporto alla progettazione

VALUTAZIONE TECNICA: basata su indagini dirette (misure deflettometriche FWD, carotaggi)

VALUTAZIONE BASATA SULL' ESPERIENZA: si considera l' aereo che più comunemente agisce sull' aeroporto e si assume come PCN l' ACN di tale aereo valutato con riferimento a valori di K o CBR desunti da prove dirette.

METODO ACN-PCN

Le norme ICAO prescrivono l'uso di particolari lettere-codici per la facilitazione di tutti gli elementi riguardanti la sovrastruttura.

Tipo di sovrastruttura

Rigida	R
Flessibile	F

Metodo di valutazione

Tecnico	T
Diretto	U

Portanza del sottofondo

Elevata	A
Media	B
Bassa	C
Scarsa	D

Pressione di gonfiaggio

Elevata	W
Media	X
Bassa	Y
Molto bassa	Z

PCN = 75/F/B/X/U

METODO ACN-PCN

CRITERI DI UTILIZZAZIONE

Pavimentazione flessibile

Effetti nocivi trascurabili per movimenti occasionali di aeromobili con ACN non superiore al **10%** del numero PCN della pista.

Pavimentazione rigida

Effetti nocivi trascurabili per movimenti occasionali di aeromobili con ACN non superiore al **5%** del numero PCN della pista.

Se non si conosce la struttura della pavimentazione, si applicherà sempre una limitazione del **5%** finché il numero di movimenti degli aerei con $ACN > 1,05 PCN$ non superi il **5%** dei movimenti annui previsti.