

ALLEGATO A: INDICI

Sommario

Indice delle figure	1
A.1 PCN (Pavement Classification Number)	2
A.2 IRI (International Roughness Index).....	4
A.3 PCI (Pavement Condition Index).....	6
A.3.1 FASE 1: Determinazione Valori Dedotti.....	8
A.3.2 FASE 2: Determinazione del massimo n° ammissibile dei deduct values:.....	9
A.3.3 FASE 3: Determinazione del massimo valore dedotto corretto (CDV):.....	9
A.3.4 FASE 4 : Calcolo del PCI:	10

Indice delle figure

Figura A.1:Schema del QCM e parametri in gioco	5
Figura A.2: Abaco di valutazione del n° di aree campione da ispezionare	7
Figura A.3 Scelta del n° di aree campione per analisi a livello di rete	7
Figura A.4:Esempio di abaco per la determinazione dei Deduct Value.....	8
Figura A.5: Esempio di abaco per la determinazione dei Deduct Value.....	10

A.1 PCN (Pavement Classification Number)

Il PCN [20] è un numero che esprime la capacità portante della sovrastruttura in assenza di restrizioni operative, che viene determinato dall'ente aeroportuale sulla carta AIP.

È una quantità che viene calcolata e si può procedere in diversi modi, l'obiettivo è quello di ottenere il carico su ruota singola derivata ammissibile.

In considerazione del fatto che l'uso di un metodo rispetto ad un altro porta a risultati anche molto diversi tra loro, è determinante la scelta della procedura da adottare.

Sicuramente il più diffuso è il metodo elaborato dalla FAA, contenuto nella AC 150/5335-5 "Standardized Method of Reporting Pavement Strength-PCN" del 1983, rimasta in vigore fino al 2006, quando è stata sostituita con la AC 150/5335-5° recante alcuni aggiornamenti.

L'ultima versione della norma risale al 2011, indicata con la sigla AC 150/5335-5B, che è importante citare in quanto vengono introdotti due importanti cambiamenti inerenti al calcolo della capacità portante.

Prima di parlare delle innovazioni normative però introduciamo cosa è il PCN e come è stato finora utilizzato.

Esso ha un ruolo molto importante nella determinazione del traffico che può circolare su un aeroporto in quanto dal confronto tra le quantità ACN e PCN viene definita l'operatività dello scalo.

Il metodo ACN/PCN definisce la tipologia di aeromobili che possono impegnare la pista di volo e le altre aree di movimento, il loro peso operativo e il numero di movimenti ammissibili, mettendo a confronto le due quantità di cui sopra, espresse ciascuna secondo una procedura standardizzata fornita dall'ICAO, legate rispettivamente all'aeromobile e alla pavimentazione.

Più precisamente, i due indici possono così essere definiti:

- ACN: Numero che esprime l'effetto relativo di un dato aeromobile su una sovrastruttura aeroportuale, dipendente da un insieme di fattori quali il peso e la configurazione dell'aeromobile stesso (pressione di gonfiaggio delle ruote, configurazione dei carrelli ecc...). Matematicamente è definito come il doppio del carico equivalente su ruota singola derivata (Derived Single Wheel Load).
- PCN: Numero che esprime convenzionalmente il carico che può essere sopportato dalla pavimentazione senza limitazioni operative.

Il sistema di codifica indicato dall'ICAO per riportare sulle carte aeronautiche il PCN comprende, oltre al valore numerico esprimente la capacità portante anche quattro lettere recanti altrettante informazioni inerenti a:

- Tipo di pavimentazioni: (R)= rigida, (F)= flessibile.
- Categoria di portanza del sottofondo: (H)= alta, (M)= media, (L)= bassa, (U)= ultrabassa.

- Massima pressione di gonfiaggio ammissibile: (W)= alta, (X)= media, (Y)= bassa, (Z)= ultrabassa.
- Metodo di valutazione adottato: (T)= tecnico, (U)= basato sull'uso.

Facendo riferimento all'approccio tradizionale, dal punto di vista operativo il calcolo del PCN si abbina a quello dell'ACN dell'aereo critico, nel senso che possono circolare sulla pista solo gli aeromobili con ACN minore o uguale al PCN relativo allo scalo.

Sono ammessi velivoli con ACN maggiori solo se il numero annuale di movimenti degli stessi non supera il 5% nel caso di pavimentazioni rigide o il 10% nel caso di pavimentazioni flessibili.

Questa procedura fa riferimento al concetto di aereo critico, che è quell'aeromobile appartenente alla flotta operante sull'aeroporto, che risulta più severo in termini di proprietà strutturali richieste alla pavimentazione. Esso non coincide necessariamente con l'aeromobile più pesante, ma con quello che in relazione alle sue caratteristiche e al numero di movimenti annui richiede maggiore capacità portante.

L'utilizzo di un unico aereo critico fa nascere la necessità di introdurre l'omogeneizzazione dello spettro di traffico, ovvero si devono convertire i movimenti annui di ciascun aeromobile della flotta in numero di ricoprimenti equivalenti del critico.

Per ricoprimento si intende l'applicazione effettiva del carico su un dato punto della sezione ed è dunque concettualmente distinto dal passaggio dell'aeromobile sulla sezione stessa, in relazione alla distribuzione trasversale delle traiettorie dei velivoli e alle modalità di diffusione del carico agente in superficie. Generalmente il numero di ricoprimenti si ricava dal numero di passaggi attraverso opportuni coefficienti corretti calcolati su base statistica.

Come anticipato sopra, la nuova normativa ha introdotto due grandi cambiamenti, inerenti ai concetti appena espressi.

Il primo riguarda l'introduzione di un nuovo criterio di omogeneizzazione del traffico aereo ad un unico aeromobile di riferimento mediante l'introduzione di un fattore di danno cumulato, il CDF.

Applicando tale criterio, la conversione del numero di movimenti di un dato aeromobile in movimenti equivalenti dell'aereo di riferimento, avviene eguagliando gli effetti in termini di danno prodotto.

La seconda novità introdotta riguarda invece il superamento del concetto di aereo critico. La valutazione della capacità portante in questo modo viene ricondotta all'intera flotta e non ad un singolo aereo assunto come critico. In pratica, si calcola il valore del PCN per ciascun aeromobile, omogeneizzando di volta in volta i movimenti di tutti i restanti velivoli rispetto a questo. Si ottiene dunque un insieme di valori di PCN, tanti quanti sono gli aerei contenuti nello spettro di traffico, il massimo tra questi valori sarà il PCN da attribuire alla pavimentazione.

Il vantaggio principale introdotto da questo nuovo approccio è la minore limitazione dell'uso della pista da parte di aerei pesanti che però impegnano la pista per un numero limitato di movimenti.

In queste condizioni infatti, con l'approccio precedente si ottiene un PCN più basso in quanto, in ragione del basso numero di movimenti degli aerei pesanti, si considera come critico un velivolo più leggero.

Tale circostanza implicherebbe di fatto una limitazione all'operatività dell'aeroporto per aerei di grandi dimensioni, non giustificata dal punto di vista tecnico, in quanto l'effetto in termini di danno cumulato prodotto dalla loro movimentazione, non è tale da compromettere la vita utile della pavimentazione.

Quanto detto, è particolarmente importante per aeroporti che forniscono un servizio di corto-medio raggio, caratterizzati cioè da una flotta composta prevalentemente da velivoli di medie dimensioni con un elevato numero di movimenti annui.

È opportuno sottolineare che ai finimantentivi, la conoscenza del PCN è importante per la valutazione delle condizioni della pavimentazione, per definirne le caratteristiche di portanza, individuando le zone strutturalmente più degradate e definire per queste i necessari interventi.

A.2 IRI (International Roughness Index)

L'IRI è un indice specifico riguardante l'aspetto funzionale della pavimentazione che individua una scala di regolarità della superficie di rotolamento basata sulle sollecitazioni trasmesse dalla sovrastruttura al passaggio di un generico veicolo a una determinata velocità.

L'indicatore è frutto di un calcolo, non di una misurazione vera e propria, e viene individuato in seguito al rilevamento del profilo della superficie analizzata ed alla misurazione delle escursioni cumulate dal sistema "Massa-Molla-Smorzatore" del veicolo di riferimento.

Si tratta quindi di un modello matematico applicato alla misurazione del profilo longitudinale, che simula l'effetto delle irregolarità della superficie pavimentata su un quarto di veicolo alla velocità di 80 km/h.

Tale modello è detto Quarter Car Model (QCM) ed è rappresentato nella figura seguente.

Si riporta accanto anche la schematizzazione che ne viene fatta al fine di illustrare quali sono le grandezze che entrano in gioco nel calcolo dell'IRI.

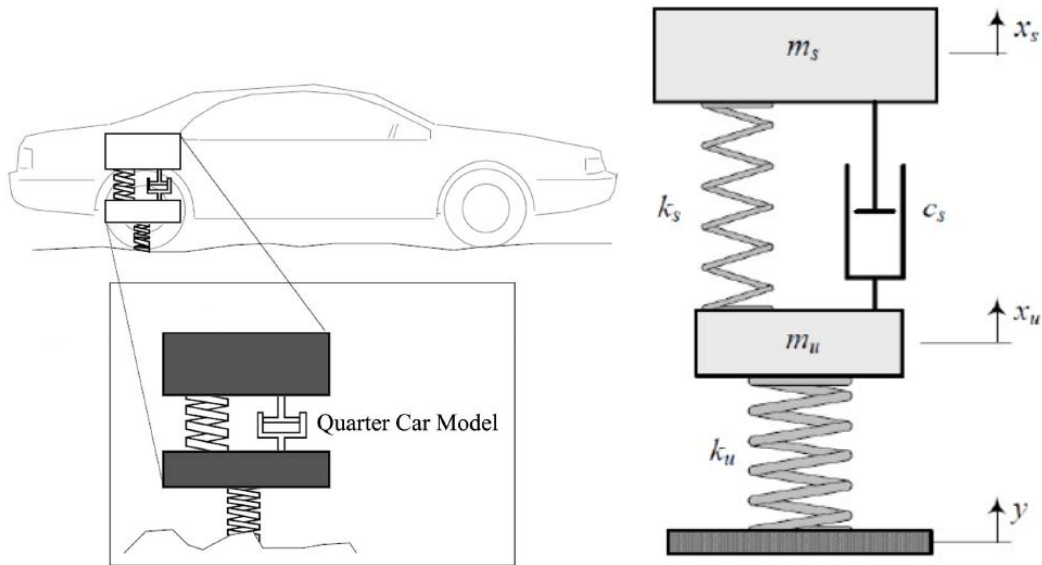


Figura A.1: Schema del QCM e parametri in gioco

Per definire l'IRI sono necessari due parametri che sono:

- La base di misura: 100m;
- La velocità di misura: 80km/h.

Sulla base di questi valori, il risultato che si ottiene sono i metri di dislivello verticale al chilometro, che rappresentano il dissesto di irregolarità longitudinale riscontrato lungo il tratto spaziale analizzato.

Matematicamente viene definito dalla seguente espressione:

$$IRI = \frac{1}{L} \int_0^L |\dot{x}_s - \dot{x}_u| dt \quad \left[\frac{m}{km} \right]$$

(A.1)

Essa deriva dalla risoluzione del sistema di equazioni differenziali del secondo ordine:

$$\begin{cases} m_s * \ddot{x}_s = -k_s * (x_s - x_u) - c_s * (\dot{x}_s - \dot{x}_u) \\ m_u * \ddot{x}_u = k_s * (x_s - x_u) + c_s * (\dot{x}_s - \dot{x}_u) - k_u * (x_u - y) \end{cases}$$

(A.2)

Con seguente significato dei simboli:

- x_s : quota parte della massa sospesa (*sprung mass*) rispetto all'equilibrio statico;
- x_u : quota parte della massa non sospesa (*unsprung mass*) rispetto all'equilibrio statico;
- m_s : massa sospesa;
- m_u : massa non sospesa;
- k_s : costante elastica della sospensione;
- k_u : costante elastica del pneumatico;
- c_s : costante di smorzamento elastico della sospensione.

Il metodo di misura del profilo longitudinale è variabile, tuttavia il più utilizzato, è il veicolo ARAN, nel quale è incorporato un sistema radar in grado di cogliere tutte le asperità del terreno e rielaborarle in conformità alla norma EN 13036-5.

A.3 PCI (Pavement Condition Index)

L'indice maggiormente utilizzato in ambito aeroportuale è il PCI, esso infatti dà una valutazione globale dello stato di salute della pavimentazione.

L'Army Corps Of Engineers nella seconda metà degli anni 70, ha elaborato un metodo di valutazione del PCI che è stato poi adottato dalla maggior parte degli istituzioni internazionali aeroportuali quali ICAO e FAA. In particolare nella norma ASTM 5340 viene descritta dettagliatamente la procedura di calcolo.

Il PCI è un indice numerico di valore compreso tra 0 e 100 che definisce le condizioni operative della pavimentazione, ove lo stato 0 rappresenta uno stato di "failure" e lo stato 100 la "good condition".

Inizialmente si procede con un'indagine visiva della pavimentazione attraverso la quale vengono identificate essenzialmente tre caratteristiche degli ammaloramenti, ovvero, la loro tipologia, il loro grado di severità e la loro quantità rapportata alla grandezza dell'intero sistema studiato. Tale indagine è legata alla determinazione delle sopraccitate unità campione.

È chiaro il fatto che imporre il calcolo del PCI in ogni unità campione comporterebbe dei costi molto elevati, quindi si definisce un "piano di campionamento" che considera un limitato numero di unità all'interno di una certa sezione che siano sufficientemente rappresentative della situazione analizzata, in funzione sia del grado di utilizzo della sovrastruttura, sia della tipologia di valutazioni che si intende effettuare, cioè se l'obiettivo dell'analisi riguarda l'identificazione di strategie a livello di rete, un numero anche limitato di *sample units* può risultare sufficiente, mentre a livello di progetto specifico è auspicabile un maggior grado di dettaglio e quindi un maggior numero di elementi ispezionati.

A livello di progetto il numero di *sample units* necessarie, si trova utilizzando la seguente formula:

$$n = \frac{N * s^2}{\frac{e^2}{4} * (N - 1) + s^2}$$

(A.3)

N: numero totale di *sample unit* presenti nella sezione analizzata;

e: tolleranza ammissibile nella valutazione del PCI (± 5 punti);

s: deviazione standard del PCI tra le aree campione all'interno della sezione.

In alternativa si possono usare abachi come quello riportato qui di seguito, nel quale conoscendo N e la deviazione standard si ricava n.

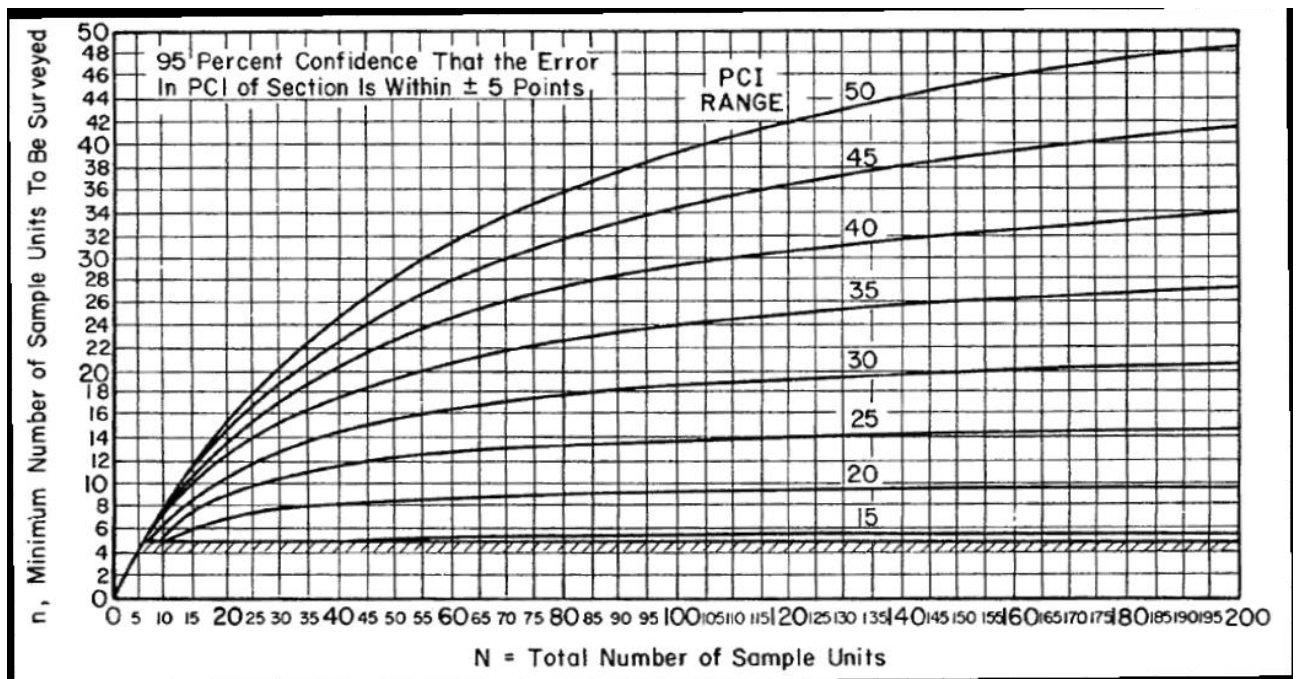


Figura A.2: Abaco di valutazione del n° di aree campione da ispezionare

Nel caso in cui N risulta minore o uguale a 5 unità, le sample units da utilizzare per il calcolo del PCI devono essere tutte.

A livello di rete invece, il grado di precisione può essere minore, ciò significa che sarà sufficiente monitorare all'atto dell'ispezione un numero più limitato di aree di campionamento per ogni sezione a discrezione dell'ente gestore, in particolare:

N° tot. "sample units" per sezione considerata	N° "sample units" da ispezionare
da 1 a 5	1
da 6 a 10	2
da 11 a 15	3
da 16 a 40	4
più di 40	10%

Figura A.3 Scelta del n° di aree campione per analisi a livello di rete

Naturalmente sia a livello di rete che a livello di progetto le sample units devono essere scelte a livello spaziale in modo da essere distribuite omogeneamente nella sezione. A tale scopo si utilizza una logica chiamata "Systematic random", che permette di ottenere a valle del processo di calcolo del PCI una condizione media ma rappresentativa della totalità della sezione monitorata.

Dopo aver definito il piano di campionamento, si procede con il rilevamento delle condizioni della sovrastruttura, in particolare di devono definire dei "deduct values" ovvero dei valori pesati che vanno ad indicare l'effetto delle variabili che più influenzano il processo di decadimento della pavimentazione.

I valori dedotti sono frutto di studi molto ampi e approfonditi circa il comportamento della sovrastruttura. Derivano da sperimentazioni, prove in sito, ma soprattutto dall'esperienza di ingegneri impegnati in campo stradale e aeroportuale.

Seguendo la procedura descritta nelle norme FAA AC 150/5380-6A e ASTM D5340 si illustrano le fasi che portano alla determinazione dell'indice PCI.

A.3.1 FASE 1: Determinazione Valori Dedotti

Per trovare tali valori, si identifica prima di tutto il dissesto presente e si giudica la sua severità. Rapportando il dissesto espresso in m^2 alla superficie totale analizzata si ricava la densità del dissesto.

Grazie a questo dato e alla severità del degrado rilevato si ricavano i valori dedotti tramite grafici come questo sotto riportato.

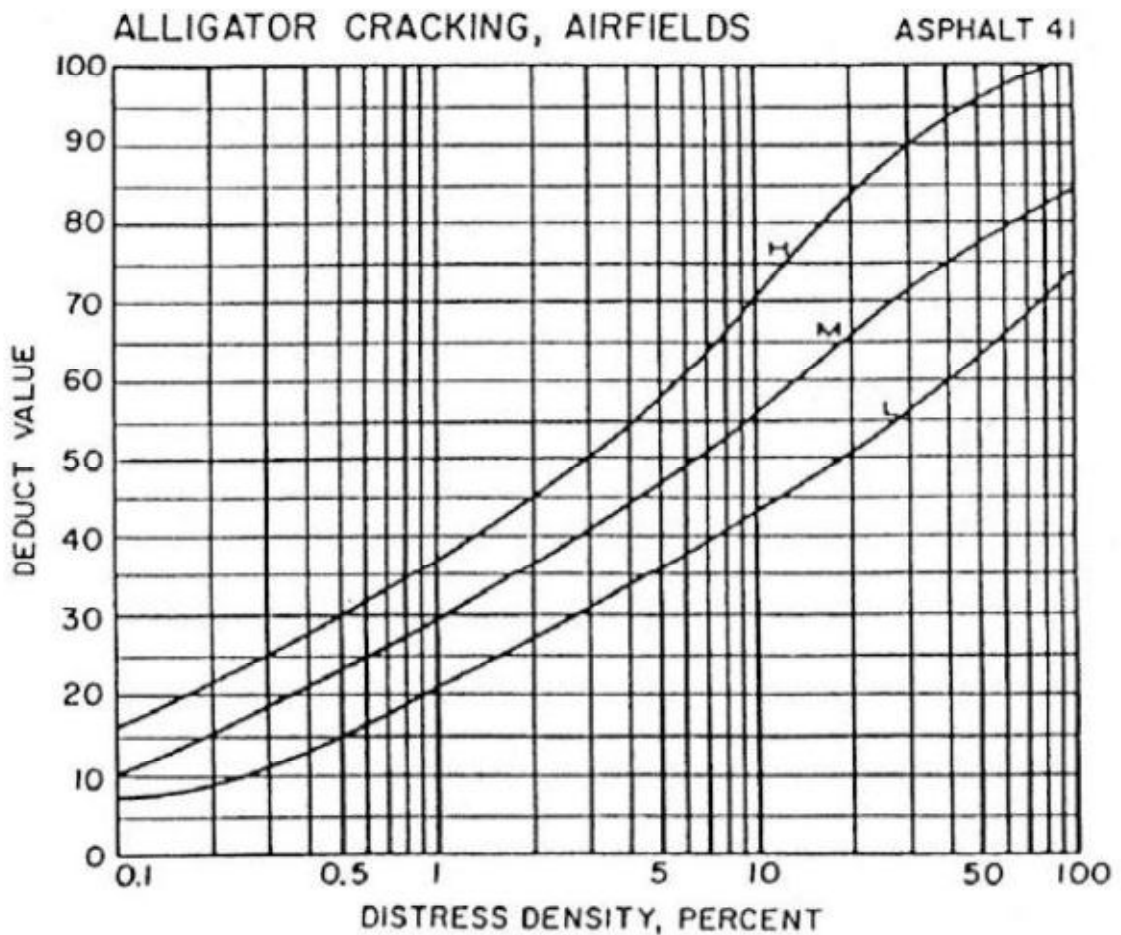


Figura A.4: Esempio di abaco per la determinazione dei Deduct Value

A.3.2 FASE 2: Determinazione del massimo n° ammissibile dei deduct values:

Se solo uno dei valori dedotti calcolati nelle fase precedente (o nessuno) risulta maggiore di 5 la somma totale dei valori dedotti sarà usata nella FASE 4 al posto del massimo CDV (Correct Deduct Value).

In caso contrario si dovrà procedere definendo una lista contenente i singoli valori dedotti, trovati nella fase precedente, ordinandoli in senso decrescente.

Utilizzando la seguente formula si trova poi il numero (m) di valori massimi dedotti per singola unità.

HDV rappresenta il maggiore valore dedotto per una singola unità di campionamento i-esima.

$$m_i = 1 + \left(\frac{9}{95}\right) * (100 - HDV_i)$$

(A. 4)

In questo modo il numero dei singoli valori dedotti è ridotto ad m , incluse le parti frazionarie. Ciò significa che se il numero di valori dedotti è minore di m , verranno usati tutti i valori dedotti. In caso contrario, il valore dedotto che supera il numero massimo ammissibile verrà sostituito con il numero ottenuto dal prodotto del valore dedotto e la parte frazionaria dell' m .

A.3.3 FASE 3: Determinazione del massimo valore dedotto corretto (CDV):

Il grafico seguente è una curva di correzione appropriata al tipo di pavimentazione, dal quale si ricava il massimo valore dedotto corretto (CDV).

I dati necessari al suo utilizzo sono il numero totale di valori dedotti e q , che rappresenta il numero di valori dedotti caratterizzati da un valore superiore a 5.

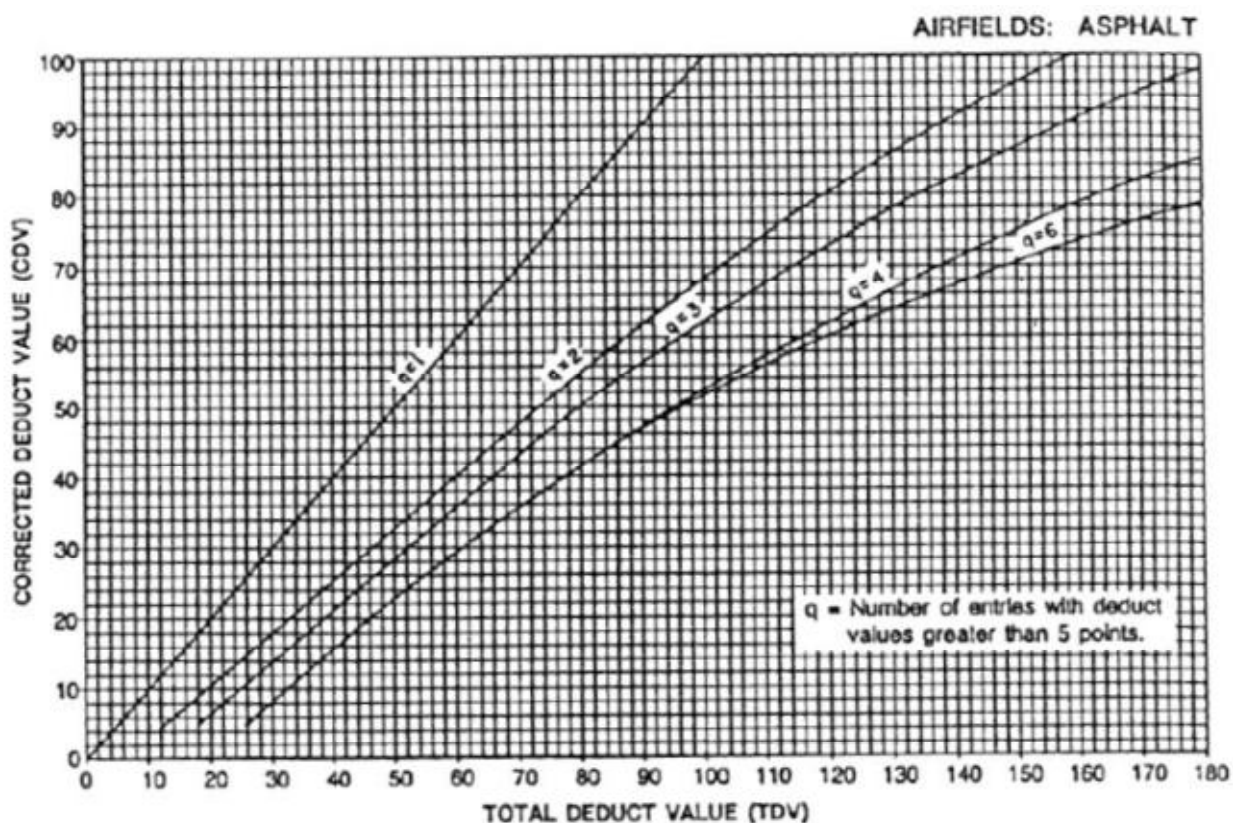


Figura A.5: Esempio di abaco per la determinazione dei Deduct Value

Successivamente si devono ridurre al valore di 5 tutti quei valori dedotti che risultino maggiori di 5. In tal modo anche il termine q diminuirà progressivamente, fino ad ottenere il valore unitario. Ad ogni successiva riduzione del valore di q , inoltre, verranno ripetuti i passaggi precedenti, in modo da ottenere altre combinazioni di q e valori dedotti totali, da utilizzare per ricavare altri CDV dalla curva di correzione. Tra i CDV così ottenuti quello che verrà usato nel calcolo del PCI è il più grande.

A.3.4 FASE 4 : Calcolo del PCI:

Il PCI della singola sample unit si calcola sottraendo alla quantità 100 il massimo valore di CDV trovato.

$$PCI = 100 - \max(CDV)$$

(A.5)

Questo procedimento andrà eseguito in tutte le unità campione costituenti la sezione al fine di dare un unico valore di PCI alla sezione stessa, che risulterà essere una media dei PCI delle entità considerate.

Il PCI risultante, relativo all'intera area, sarà dato dalla media dei PCI calcolati nelle varie sezioni.

Il calcolo di questo indice ha il vantaggio di garantire delle misure oggettive, anche automatizzate, che sono riconosciute da tutte le convenzioni internazionali, tuttavia è da sottolineare l'aspetto economico, infatti le campagne di indagine si svolgono

normalmente con cadenza superiore all'anno, quindi non è possibile avere un monitoraggio continuo del degrado dell'infrastruttura.