



Energia di deformazione

EBS, EES: Teoria e Pratica

Sommario

- Energia di deformazione:
 - EBS
 - EES
- Applicazioni pratiche

Energia di deformazione

Sviluppo storico, EBS, EES

EBS e EES

- Campbell – 1974
 - Indagare la qualità costruttiva dei veicoli mirata alla sicurezza degli occupanti: «*injury severity*»
 - Variabili:
 - Severità della collisione (danni al veicolo)
 - Direzione principale della forza
 - Zona d'urto sul veicolo
 - Durata dell'impatto

EBS e EES

- Campbell – 1974
 - Indagare la qualità costruttiva dei veicoli mirata alla sicurezza degli occupanti: «*injury severity*»
 - Variabili:
 - Severità della collisione (danni al veicolo)
 - Direzione principale della forza
 - Zona d'urto sul veicolo
 - Durata dell'impatto

Tipologia di collisione



EBS e EES

- Campbell – 1974
 - Severità della collisione:

EBS e EES

- Campbell – 1974
 - Severità della collisione:
 - Analisi dei risultati di vari crash-test frontali contro barriera «indeformabile», per uno stesso modello di veicolo, a velocità di impatto v_0 differenti, e per differenti estensioni C dei danni riportati sui veicoli.



Grafico da [1]

EBS e EES

- Campbell – 1974
 - Severità della collisione:
 - Per uno stesso modello di veicolo, a velocità di impatto v_o differenti, si ricava una relazione «lineare» tra v_o e l'estensione C dei danni riportati sui veicoli di test

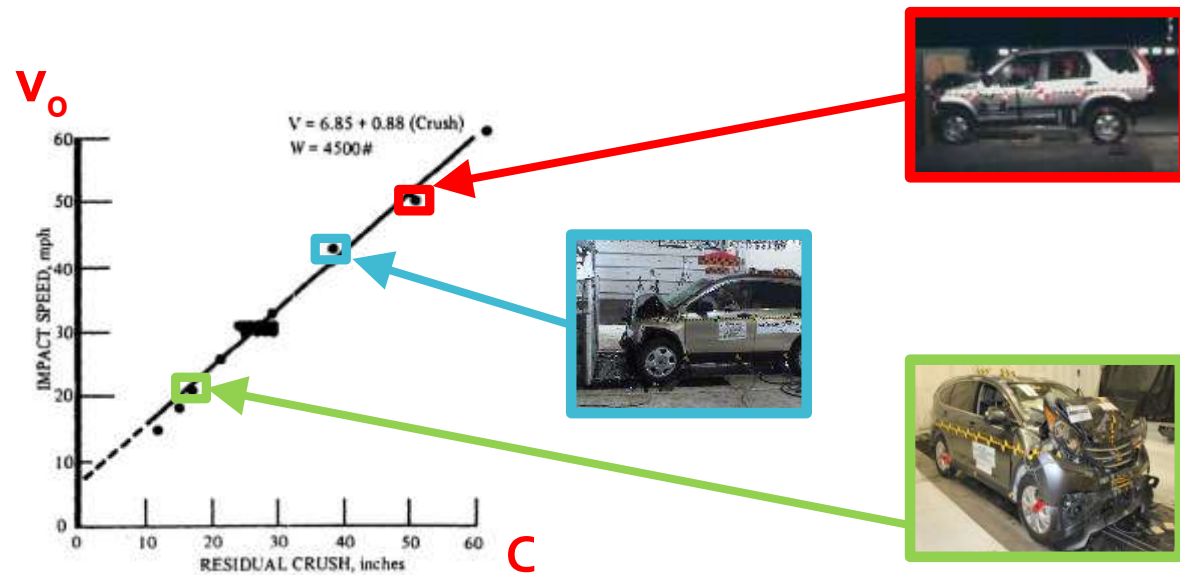


Grafico da [1]

EBS e EES

- Campbell – 1974
 - Severità della collisione:
 - Per uno stesso modello di veicolo, a velocità di impatto v_0 differenti, si ricava una relazione «lineare» tra v_0 e l'estensione C dei danni riportati sui veicoli di test

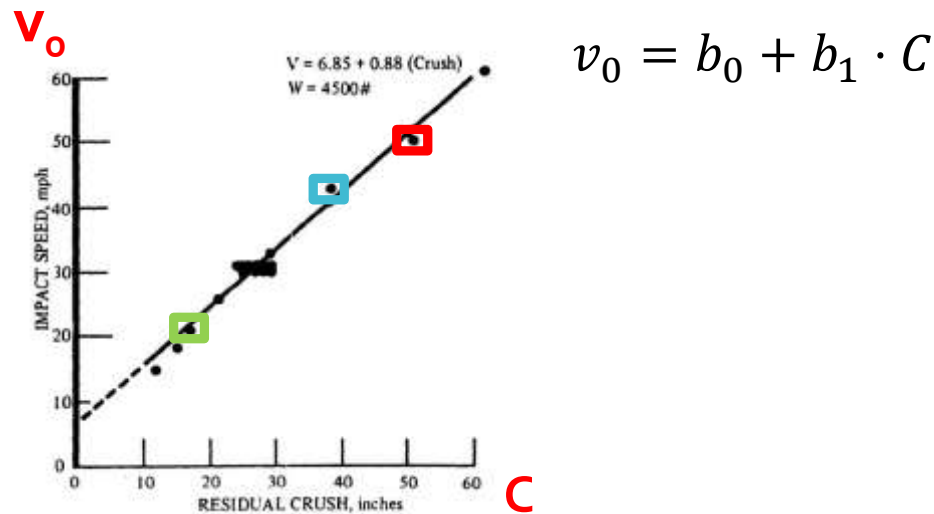
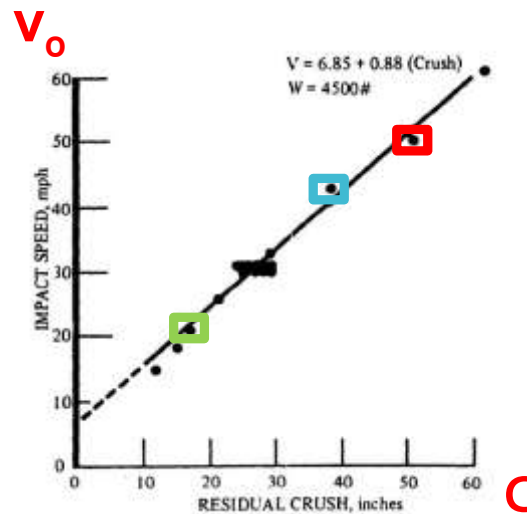


Grafico da [1]

EBS e EES

- Campbell – 1974
 - Severità della collisione:
 - Per uno stesso modello di veicolo, a velocità di impatto v_0 differenti, si ricava una relazione «lineare» tra v_0 e l'estensione C dei danni riportati sui veicoli di test



$$v_0 = b_0 + b_1 \cdot C$$

Cosa significano **b_0** e **b_1** ?

**Approfondimento
affrontato durante le
lezioni in aula**

Grafico da [1]

EBS e EES

- Campbell – 1974
 - Severità della collisione:
 - Per uno stesso modello di veicolo, a velocità di impatto v_0 differenti, si ricava una relazione «lineare» tra v_0 e l'estensione C dei danni riportati sui veicoli di test

Esercizio

**Approfondimento affrontato
durante le lezioni in aula**

EBS e EES

- Campbell – 1974
 - Severità della collisione:

Esercizio – Calcolare **b1** da crash-test:

Tenendo conto che:

1. Per i mezzi europei si può considerare **b0** = 6-8 km/h (normativa ECE R42 – no danni fino a 4 km/h)
2. Per il crash-test NHTSA 7732 – Honda CRV 2012 contro barriera rigida indef. – urto frontale – le deformazioni sono come da tabella

Calcolare il coefficiente **b1**.



NHTSA 7732

Prof. deform.

Numero misurazioni urto:

n = 2 n = 4 n = 6

C1	C2	C3	C4	C5	C6	
0.451	0.555	0.571	0.587	0.54	0.435	m

Prof. media deform.:

$$C_{\text{Med}} = \frac{C_1 + \sum_{i=2}^n C_i + C_n}{n-1}$$

Test EBS	vt:	56.3	km/h
Largh. deform	Lt:	1.455	m
Massa veicolo test	mt:	1752	kg

EBS e EES

- Campbell – 1974
 - Severità della collisione:
- Note:**

**Approfondimento affrontato
durante le lezioni in aula**

EBS e EES

- Campbell – 1974
 - Relazione energia deformazioni residue:
 - Campbell definì vo come con il nome **EBS**, acronimo di Equivalent Barrier Speed, cosa rappresenta l'EBS?

EBS e EES

- Campbell – 1974
 - Relazione energia deformazioni residue:
 - Campbell definì vo come con il nome **EBS**, acronimo di Equivalent Barrier Speed, cosa rappresenta l'EBS?
 - Notiamo che:

$$E_C = \frac{1}{2}mv_0^2 = \frac{1}{2}mEBS^2 = E_{a|c}$$



Video

Equivalent Barrier Speed

Indica l'energia che deve essere assorbita nella fase di compressione (variazione di energia cinetica nella fase di compressione) affinché il veicolo riporti le deformazioni permanenti riscontrate

EBS e EES

- Campbell – 1974
 - Applicazioni in casi reali:

EBS e EES

- Campbell – 1974
 - Applicazioni in casi reali:
 - Il punto di partenza è l'esame dei danni riportati dal veicolo
 - L'obiettivo è associare un valore di **EBS** al veicolo incidentato partendo
 1. dai coefficienti **b₁** e **b₀** per il tipo di modello
 2. dalle deformazioni **C** sul veicolo incidentato



Sinistro stradale: **C**

EBS
<----->

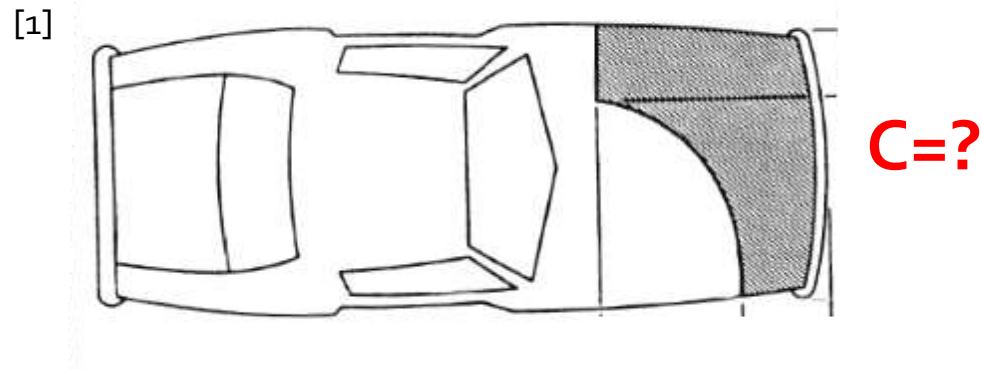


Crash-Test: **b₀** e **b₁**

EBS e EES

- Campbell – 1974
 - Applicazioni in casi reali:
 - Problema: in un caso reale le deformazioni non hanno estensione omogenea come nei crash-test frontali contro barriera rigida → non si può semplicemente calcolare l'EBS da:

$$v_0 = EBS = b_0 + b_1 \cdot C$$

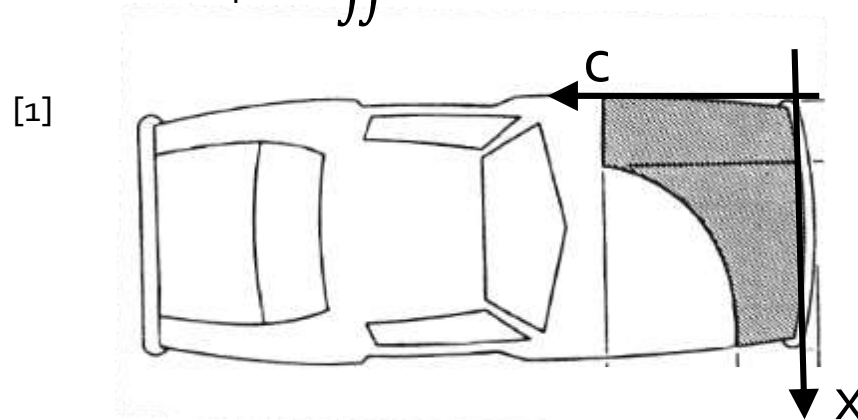


Area in grigio: profilo di deformazione per crash stradale

EBS e EES

- Campbell – 1974
 - Applicazioni in casi reali:
 - Si usa allora un passaggio intermedio. L'energia assorbita dal mezzo nella fase di compressione $E_{a|c}$ si calcola utilizzando la seguente relazione:

$$E_{a|c} = \iint F_U(c, x) dc dx$$

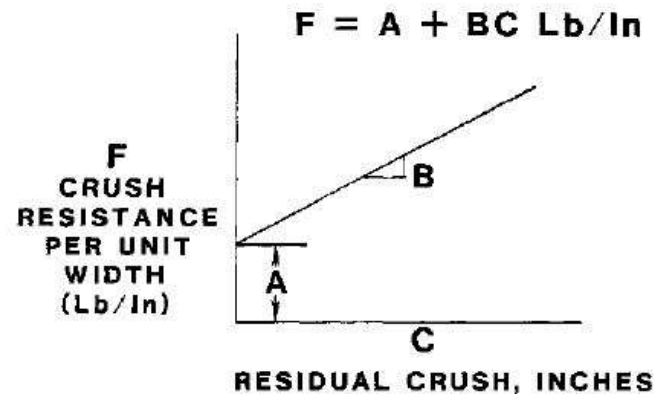


Si descrive la variazione di E_c come integrale della forza d'urto equivalente $F_U(c, x)$ espressa rispetto alle deformazioni residue.

EBS e EES

- Campbell – 1974
 - Applicazioni in casi reali:
 - La forza d'urto $F_U(c, x)$ lungo la direzione c è espressa secondo la seguente relazione:

$$F = A + B \cdot c$$



[2]

Figure 13 Assumed Linear Form of Crush Resistance

EBS e EES

- Campbell – 1974
 - Applicazioni in casi reali:
 - Calcolo dell'energia di deformazione

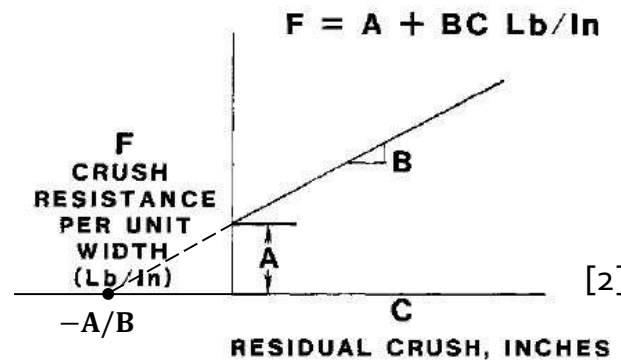


Figure 13 Assumed Linear Form of Crush Resistance

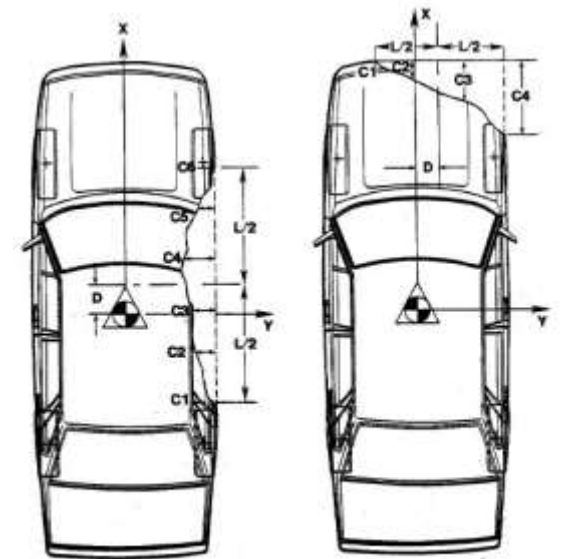


Figure 14 Damage Dimensions

Approfondimento affrontato durante le lezioni in aula

EBS e EES

- Campbell – 1974
 - Applicazioni in casi reali:
 - Relazione con la formulazione tramite EBS

**Approfondimento affrontato
durante le lezioni in aula**

EBS e EES

- Campbell – 1974
 - Applicazioni in casi reali:
 - Procedura per il calcolo dell'EBS per un veicolo incidentato
1. Ricavare i coefficienti b_0 e b_1 dal crash –test
 2. Calcolare A , B e G in funzione di b_0 e b_1 (usando la massa m_t del veicolo di test)
 3. Calcolare $E_{a|c}$ con la formula:

$$E_{a|c} = \int_{-L/2}^{L/2} \left(AC + B \frac{C^2}{2} + G \right) dl$$

4. Calcolare EBS da (usando la massa del veicolo incidentato):

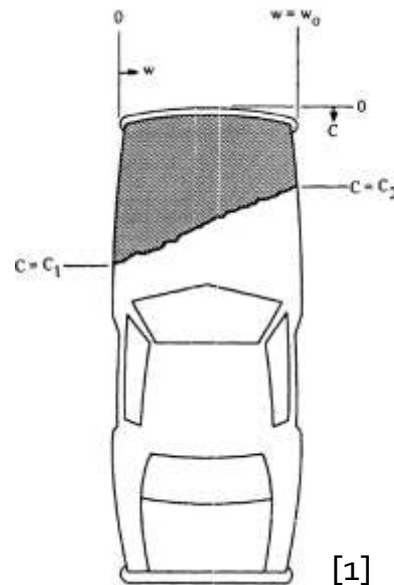
$$E_{BS} = \sqrt{\frac{2E_{a|c}}{m_{vi}}}$$

EBS e EES

- Campbell – 1974
 - Applicazioni in casi reali:
 - Calcolo dell'energia di deformazione

Esercizio

Utilizzando i coefficienti ricavati per il crash-test NHTSA 7732 calcolare $E_{a|c}$ per il seguente profilo:



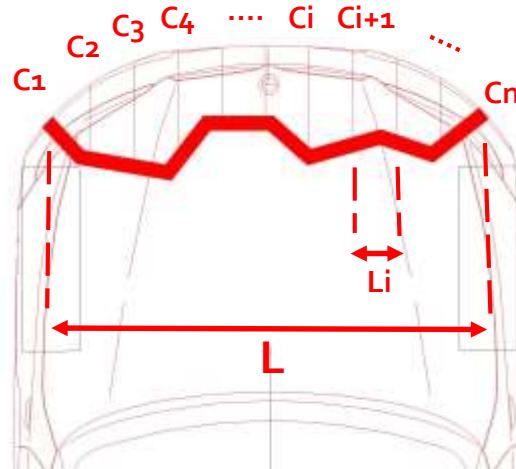
**Approfondimento
affrontato durante le
lezioni in aula**

EBS e EES

- Campbell – 1974
 - Applicazioni in casi reali:
 - Calcolo dell'energia di deformazione

Formula generale per il calcolo dell'EBS

Un profilo di deformazione generico può essere approssimato come:



**Approfondimento
affrontato durante le
lezioni in aula**

EBS e EES

- Burg– 1980
 - Concetto di EES
 - Calcolando il valore di **EBS** per un veicolo incidentato si ricava l'energia E_{alc} cioè l'energia che deve essere assorbita nella fase di compressione (variazione di energia cinetica nella fase di compressione) affinché il veicolo riporti le deformazioni permanenti riscontrate
 - E_{alc} è però composta sia dall'energia di deformazione E_D che dall'energia cinetica E_R rilasciata nella fase di restituzione.

**Approfondimento affrontato
durante le lezioni in aula**

EBS e EES

- Burg– 1980
 - Concetto di EES
 - Considerando un coefficiente di restituzione pari a k per la collisione si ha che:

**Approfondimento affrontato
durante le lezioni in aula**

EBS e EES

- McHenry– 1986
 - La differenza fra **EBS** ed **EES** si comprende chiaramente osservando il grafico della forza d'urto in funzione della deformazione al veicolo, durante una collisione contro una barriera:

**Approfondimento affrontato
durante le lezioni in aula**

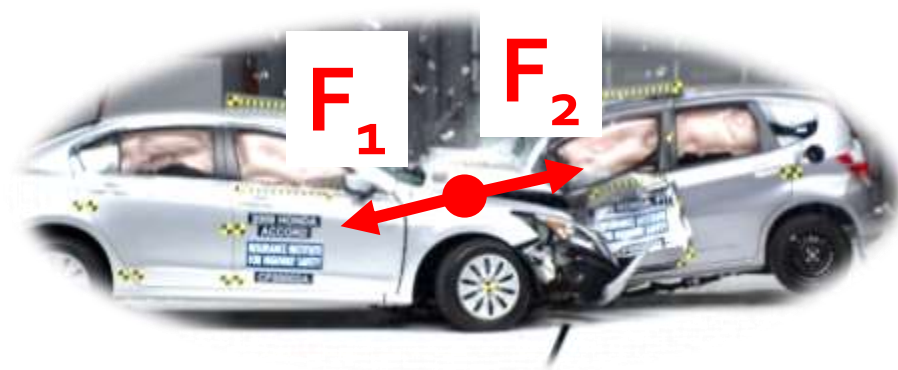
EBS e EES

- Burg– 1980
 - Concetto di EES
 - Come si ripartisce l'EES tra due veicoli in collisione?

EBS e EES

- Burg– 1980
 - Concetto di EES
 - Come si ripartisce l'EES tra due veicoli in collisione?

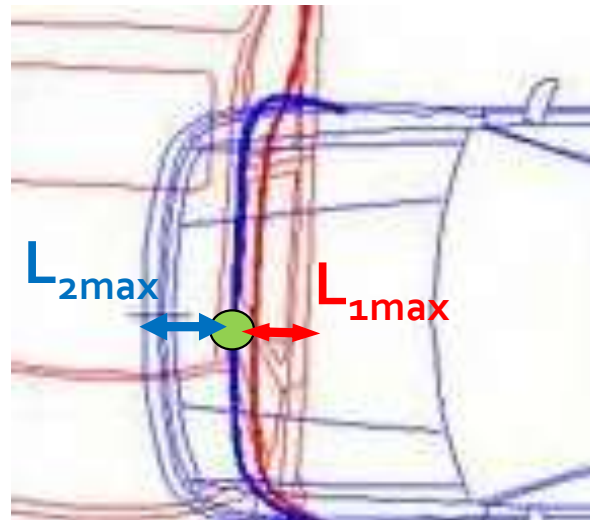
Approfondimento affrontato durante le lezioni in aula



EBS e EES

- Burg– 1980
 - Concetto di EES
 - Come si ripartisce l'EES tra due veicoli in collisione?

$$\frac{EES_1}{EES_2} = \sqrt{\frac{L_{1max} m_2}{L_{2max} m_1}} = \sqrt{\frac{k_2 m_2}{k_1 m_1}}$$



**Approfondimento
affrontato
durante le lezioni
in aula**

EBS e EES

- Burg– 1980
 - Concetto di EES
 - Stima dell'EES per confronto visivo con i danni a veicolo con EBS noto

**Approfondimento affrontato
durante le lezioni in aula**

EBS e EES

- Burg– 1980
 - Concetto di EES
 - Stima dell'EES per confronto visivo con i danni a veicolo con EES noto

**Approfondimento affrontato
durante le lezioni in aula**

EBS e EES

- Burg– 1980
 - Concetto di EES
 - Stima dell'EES per confronto visivo con i danni a veicolo con EES noto

Esempio.

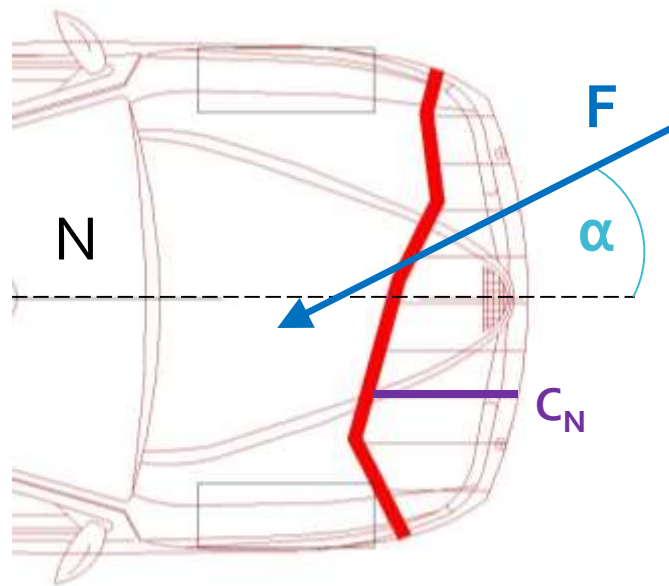
Calcolare visivamente EES del veicolo – m: 1500kg – k=0,15:



**Approfondimento affrontato
durante le lezioni in aula**

EBS e EES

- McHenry – 1976
 - Correzione del valore di EBS rispetto alla direzione della forza d'urto



Nella direzione dell'asse

$$F_N = F \cdot \cos(\alpha)$$

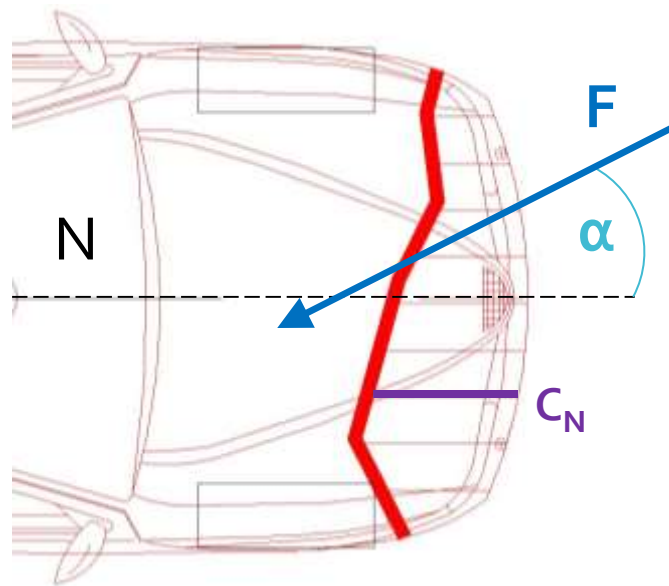
$$C_N = C \cdot \cos(\alpha)$$

Sul veicolo incidentato si misurano i C_N , e i coefficienti A e B sono calcolati rispetto a F_N , ma nella formula dovremmo usare F e C →

$$E_{a|c} = \iint F dc = \iint \frac{1}{\cos^2 \alpha} F_N dc_N = (1 + \tan^2 \alpha) E_{a|c,N}$$

EBS e EES

- McHenry – 1976
 - Correzione del valore di EBS rispetto alla direzione della forza d'urto



Perché $E_{a|c}$ è maggiore di $E_{a|c,N}$?

Approfondimento affrontato durante le lezioni in aula

$$E_{a|c} = \iint F dc = \iint \frac{1}{\cos^2 \alpha} F_N dc_N = (1 + \tan^2 \alpha) E_{a|c,N}$$

EBS e EES

- Crash-test laterali con barriera
 - Nei crash-test laterali con barriera il veicolo è fermo al momento della collisione e la barriera impatta nel veicolo.

EBS e EES

- Crash-test laterali con barriera
 - Nei crash-test laterali con barriera il veicolo è fermo al momento della collisione e la barriera impatta nel veicolo.

L'EBS è parametro che esprime l'energia E_{alc} assorbita dal veicolo nella fase di compressione → dobbiamo stimare tale energia.

**Approfondimento affrontato
durante le lezioni in aula**

EBS e EES

- Calcolo di **b₀** e **b₁** da crash test multipli
 - Per calcolare i coefficienti di Campbell utilizzando crash-test multipli è necessario normalizzare la massa dei mezzi coinvolti rispetto a una massa standard.

**Approfondimento affrontato
durante le lezioni in aula**

EBS e EES

- Domande:
 - Δv , EBS ed EES sono la stessa cosa?
 - Calcolare Δv , EBS ed EES per il crash-test NHTSA 7732 considerando $k = 0,15$
 - Calcolare Δv , EBS ed EES considerando che l'autoveicolo del crash-test NHTSA tamponi frontalmente un veicolo identico con $k=0$
 - Ripetere il calcolo con $k = 0,17$

Bibliografia e Contatti

Elenco di alcuni testi di riferimento

Bibliografia

1. ***Energy basis for collision severity***, K. L. Campbell, SAE 740565
2. ***The algorithms of Crash***, McHenry Software, SECCC 2001
3. ***A revised damage analysis procedure for the CRASH computer program***, R.R. McHenry & B.G. McHenry , SAE 861849
4. ***Effects of restitution in the application of crush coefficients***, R.R. McHenry & B.G. McHenry , SAE 970960
5. ***Residual crush energy partitioning***, R. M. Brach, SAE 970960
6. ***Effects of restitution in the application of crush coefficients***, R.R. McHenry & B.G. McHenry , SAE 970960
7. ***THE ACCURACY OF CRASH₃ FOR CALCULATING COLLISION SEVERITY IN MODERN EUROPEAN CARS***, J. Lenard & B. Hurley & P. Thomas

Bibliografia

8. ***An examination of the CRASH3 effective mass concept***N. A. Rose & S. J. Fenton & R. M. Ziernicky, SAE 2004-01-1181
9. ***Restitution Modeling for Crush Analysis: Theory and Validation***, N. A. Rose & S. J. Fenton & G. Beauchamp, SAE 2006-01-0908
10. ***Vehicle Accident Analysis and Reconstruction Methods***, R.M. Brach, SAE International
11. ***Handbook of Accident Reconstruction***, H. Burg & A. Mose (Ed)

Contatti

Studio Del Cesta

P. I. Andrea Del Cesta

Ing. Francesco Del Cesta

Via F. Turati, 35/P

Loc. Arena Metato

56017 San Giuliano Terme (PI)

T: 050 81 04 50

www.studiodelcesta.com

PC-Crash.it

Ing. Francesco Del Cesta

www.pc-crash.it

M: 333 62 45 116