

Corso di Innovazione nella Realizzazione di Prodotti Metallici


## SCELTA DEL MATERIALE PER LA REALIZZAZIONE DI UN GUARD RAIL MEDIANTE IL SOFTWARE CAMBRIDGE ENGINEERING SELECTOR 2007



**Studenti:** Alessia Chielon Boscolo, Giulia Finetto, Chiara Franzolin,  
Rossella Rosa, Valeria Sturba, Angelo Vito Virgilio

**Relatore:** Ing. Giulio Timelli

## GUARD RAIL N2

- **Tipologia:** bordo laterale a due onde
- **Funzione**  **barriera di contenimento**
  - necessità di contenere il veicolo nella carreggiata
  - caratteristica di redirezionalità
  - assorbire parte dell'energia cinetica di cui è dotato il veicolo durante l'urto
  - limitare gli effetti dell'urto sui passeggeri
  - evitare il ribaltamento del veicolo
  - essere deformabile (no rottura)



# GUARD RAIL N2

- **Progettazione** → Ottimo compromesso tra:
  - caratteristiche di elasticità
  - caratteristiche di plasticità
  - resistenza meccanica

- **Utilizzo:**

- strade urbane di scorrimento
- strade locali
- strade di quartiere

*Traffico principalmente costituito da automobili, piccola % di veicoli pesanti*



# GUARD RAIL N2

- **Normative di riferimento:**

- *UNI EN 1317*: stabilisce i criteri generali e di accettabilità per i metodi di prova (crash test), descrizione e classificazione in base al traffico delle barriere di sicurezza
- *D.M 233 del 18.02.1992* : stabilisce le proprietà minime del materiale per la costruzione del guard rail

- **3 indici:**

- Livello di contenimento (usato nell'analisi)
- Indice di severità dell'accelerazione (ASI)
- Velocità teorica d'urto della testa (THIV) e della decelerazione post-urto della testa (PHD)

*Per semplificare il problema consideriamo il corpo macchina-passeggero*

## OBIETTIVI



Massima deformazione plastica  
(no rottura)



Massimo assorbimento  
dell'energia cinetica durante l'urto

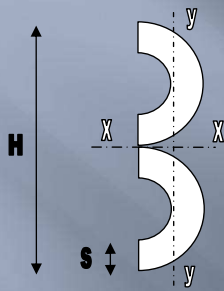


Durabilità nel tempo

## VINCOLI

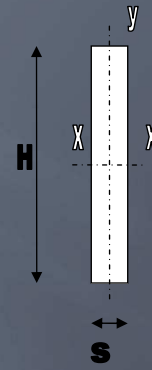
- ✓ relazione tensione di rottura e tensione di snervamento
- ✓ allungamento
- ✓ prezzo-densità
- ✓ processi di lavorazione
- ✓ temperatura di esercizio
- ✓ resistenza alla corrosione
- ✓ infiammabilità
- ✓ riciclabilità
- ✓ raggi UV

## FORMA DEL GUARD RAIL



$$2 \cdot J_{y-y} = 2 \cdot R_{medio}^3 \cdot s \cdot \left( \frac{\pi}{2} - \frac{4}{\pi} \right) = 666.076 \text{ mm}^4$$

$$W_{y-y} = \frac{J_{y-y}}{|x|} = 13.677 \text{ mm}^3$$



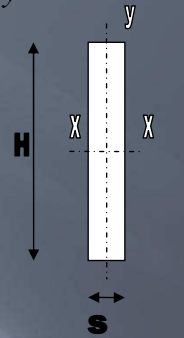
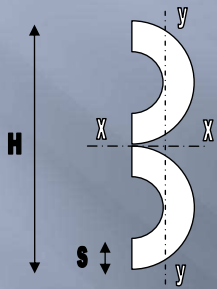
$$J_{y-y} = \frac{1}{12} \cdot H \cdot b^3 = 1490,5 \text{ mm}^4$$

$$W_{y-y} = \frac{1490,5 \text{ mm}^4}{1,93 \text{ mm}} = 772,3 \text{ mm}^3$$

## EQUAZIONE DI NAVIER

$$\sigma_{\max} = \frac{M_y}{J_{y-y}} \cdot |x| = \frac{M_y}{W_{y-y}}$$

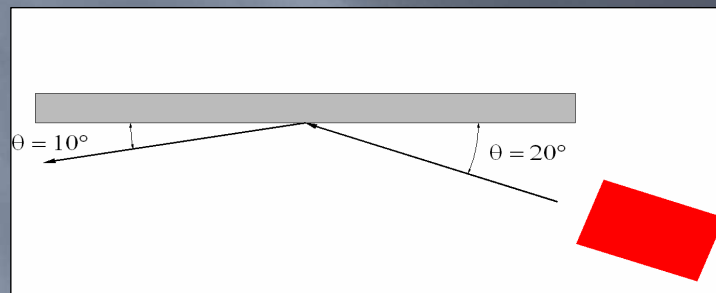
$$\sigma_{\max} = \frac{M_y}{J_{y-y}} \cdot |x| = \frac{M_y}{W_{y-y}}$$



Essendo  $W_{y-y}$  maggiore nel primo caso, a parità di momento  $M_y$  le tensioni max che agiscono sulla superficie risultano essere minori e quindi più lontane dalla tensione di rottura

## LE NORMATIVE DI RIFERIMENTO: UNI EN 1317-2

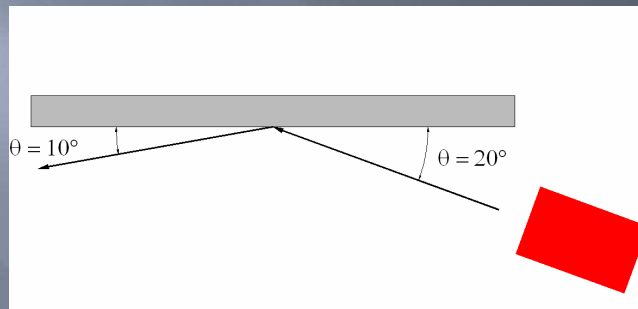
Prova	Velocità d'urto [km/h]	Angolo d'urto [gradi]	Massa totale del veicolo [kg]	Tipo di veicolo
TB 11	100	20	900	automobile
TB 32	110	20	1500	automobile



$$L_c = \frac{1}{2} M(v \sin \theta)^2$$

La normativa definisce il valore del livello di contenimento ( $L_c$ ) ed impone che debba essere pari all'energia minima assorbita dal guard rail.

# SCHEMATIZZAZIONE DEL PROBLEMA



$$E_{c, iniziale} = E_{c, finale} + \Delta E$$

$$\frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}mv'^2 + \Delta E_{barriera} + \Delta E_{restante}$$

$\Delta E_{barriera}$  : energia assorbita guard rail

$\Delta E_{restante}$  : energia assorbita dalla macchina  
energia dissipata per attrito  
energia assorbita dal conducente  
energia termica dissipata

## METODOLOGIA

Calcolo dell'energia cinetica della macchina prima dell'urto (valore fissato dalla normativa di riferimento)

Calcolo energia cinetica della macchina dopo l'urto, ipotizzando una velocità ed un angolo di uscita

Determinazione dell'energia assorbita dal guard rail ( $\Delta E_{barriera}$ ) e quella dissipata ( $\Delta E_{restante}$ ) e delle relative percentuali

# RISULTATI

- $E_{c, iniziale} = 700.000 \text{ J}$
- $E_{c, finale} = 469.000 \text{ J}$
- $\Delta E_{barriera} : 82.000 \text{ J} = Lc$
- $\Delta E_{restante} : 149.000 \text{ J}$

$$\frac{\Delta E_{restante}}{E_{c,I}} = 21\%$$

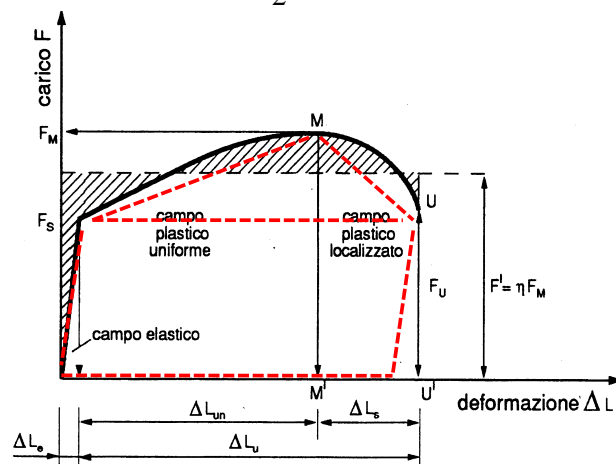
$$\frac{\Delta E_{barriera}}{E_{c,I}} = 12\%$$

E' possibile notare come l'energia dissipata durante l'urto sia circa pari al 33%.

## 1°STAGE: TENSIONE DI ROTTURA E DI SNERVAMENTO (1)

### DETERMINAZIONE CARATTERISTICHE MECCANICHE

$$\begin{aligned} \frac{\Delta E}{V} &= An \cdot Rp + \frac{(Rm - Rp) \cdot An}{2} \\ &= \frac{An \cdot (Rp + Rm)}{2} \end{aligned}$$



An: allungamento a rottura  
 Rp: tensione di snervamento  
 Rm: tensione di rottura  
 $\Delta E$ : energia assorbita  
 V: volume del materiale portato a rottura



# 1°STAGE: TENSIONE DI ROTTURA E DI SNERVAMENTO (2)

## RELAZIONE ENERGIA STATICA-DINAMICA

- Nella relazione individuata, il parametro  $\Delta E$  indica l'energia assorbita da un provino in condizioni statiche
- Il parametro  $\Delta E_{\text{barriera}}$  indica l'energia assorbita in condizioni dinamiche



### OBIETTIVO

trovare un coefficiente di relazione  $\alpha$  tra l'energia assorbita in condizioni dinamiche e quella in condizioni statiche

$$\Delta E_{\text{statico}} = \alpha \Delta E_{\text{dinamico}}$$

# 1°STAGE: TENSIONE DI ROTTURA E DI SNERVAMENTO (3)

## DETERMINAZIONE COEFFICIENTE $\alpha$

Si è analizzato la differenza tra  $\Delta E_{\text{statico}}$  e  $\Delta E_{\text{dinamico}}$  nel caso di

- lega leggera (AL 6082 T6)
- acciaio (FE304)

Materiale	Rp [Mpa]	Rm [Mpa]	An %	$\Delta E$ statico [Mpa]	$\Delta E$ dinamico [Mpa]
Al 6082 T6	255	300	10	27,75	9,09
Fe 304	290	621	55	250,52	65,45

Materiale	$\alpha$
Al 6082 T6	3,05
Fe 304	3,82

$$\alpha = \frac{\Delta E_{\text{statico}}}{\Delta E_{\text{dinamico}}}$$



# 1°STAGE: TENSIONE DI ROTTURA E DI SNERVAMENTO (4)

## VINCOLI IMPOSTI DALLA NORMATIVA

Il decreto ministeriale 223 del 18.12. 1992 impone che le principali caratteristiche meccaniche del materiale siano non inferiori all'acciaio S 235 JR

Materiale	Rp [Mpa]	Rm [Mpa]	E [Mpa]
S 235 JR	235	360	198000

$$R_m + R_p = 595 \text{ MPa}$$



$$R_m + R_p \geq 595 \text{ MPa}$$

# 1°STAGE: TENSIONE DI ROTTURA E DI SNERVAMENTO (5)

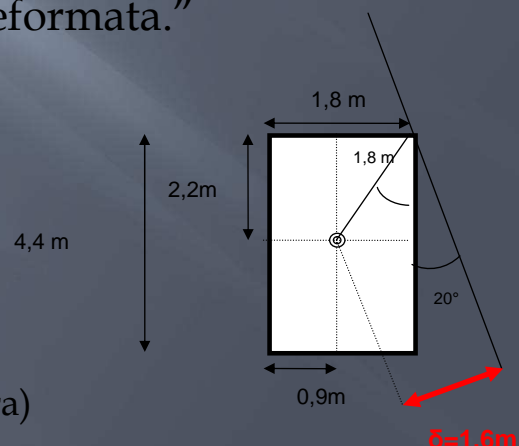
## CALCOLO MASSIMO ALLUNGAMENTO

Normativa UNI EN 1317-2:

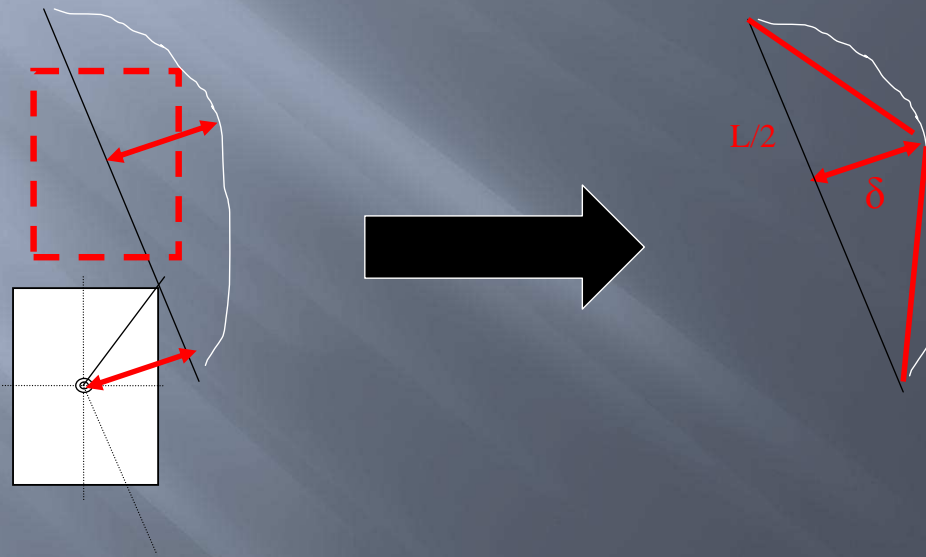
“ .. Il centro di gravità del veicolo non deve attraversare la linea centrale della barriera deformata.”

Ipotesi: Audi A3  
Massa  $\approx$  1500 kg  
Larghezza: 1,77 m

Il massimo spostamento che può avere il guard rail è pari a 160 cm ( $\delta$  in figura)



# ALLUNGAMENTO A ROTTURA



## 1°STAGE: TENSIONE DI ROTTURA E DI SNERVAMENTO (6)

### CALCOLO MASSIMO ALLUNGAMENTO

$$L_{fin} \cong 2 \cdot \sqrt{\delta^2 + (L/2)^2} = 2 \cdot \sqrt{1,6^2 + 2^2} \cong 5,12m$$

$$An = \frac{L_{fin} - L}{L} \cdot 100 = \frac{5,12 - 4}{4} \cdot 100 \cong 28\%$$

In seguito alle semplificazioni eseguite si impone una deformazione massima non superiore al 30%.

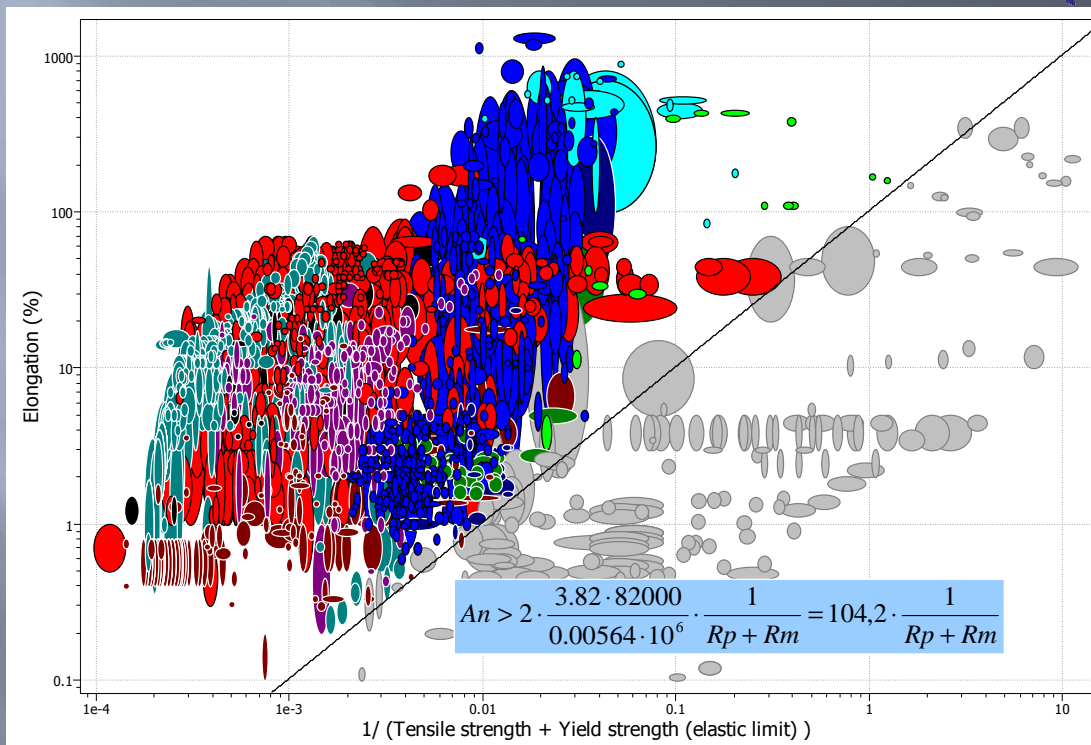
# 1°STAGE: TENSIONE DI ROTTURA E DI SNERVAMENTO (7)

## VINCOLI IMPOSTI

$$\left\{ \begin{array}{l} R_p + R_m > 595 \text{ Mpa} \\ A_n < 30\% \\ A_n > \frac{2\alpha\Delta E_{dyn}}{V} \cdot \frac{1}{R_p + R_m} \end{array} \right.$$

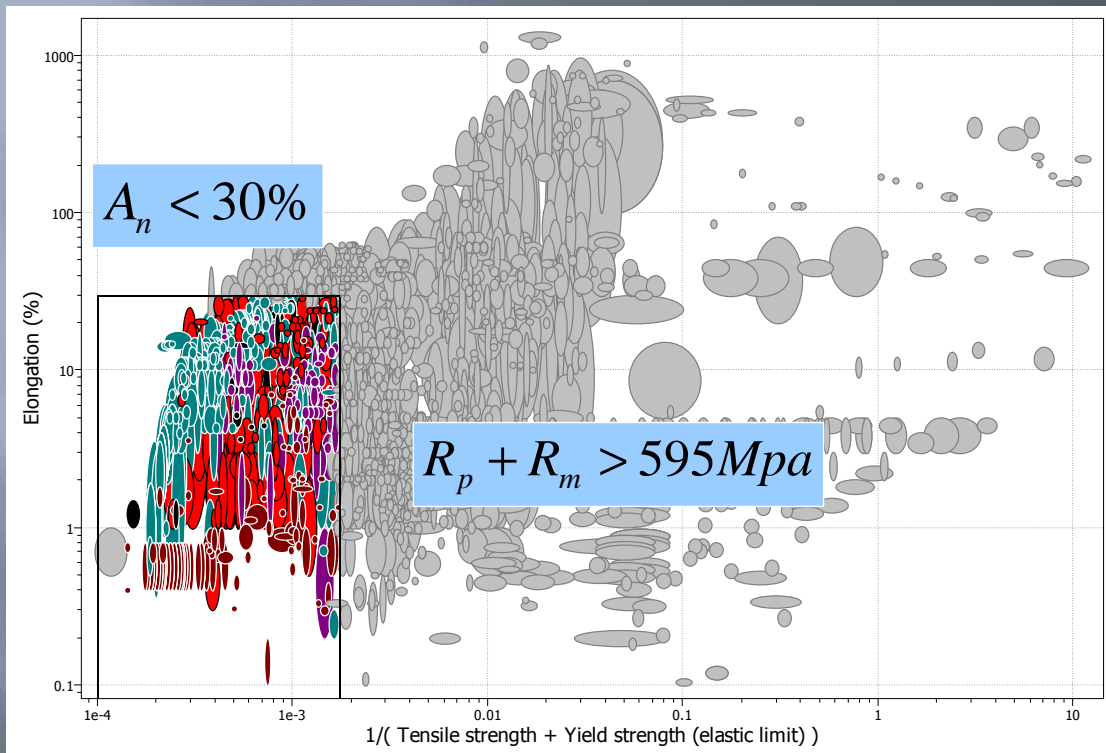
$$\rightarrow A_n > 2 \cdot \frac{3.82 \cdot 82000}{0.00564 \cdot 10^6} \cdot \frac{1}{R_p + R_m} = 104,2 \cdot \frac{1}{R_p + R_m}$$

# 1°STAGE: TENSIONE DI ROTTURA E DI SNERVAMENTO (8)



*Famiglie eliminate:* alluminio puro, schiume di alluminio, borosilicati, materiali ceramici, grafite, schiume fenoliche, schiume di polistirene, di poliuretano, silicati, zirconio, cementi, legni e vetri. **RISULTATO:2430 SU 2727**

## 1°STAGE: TENSIONE DI ROTTURA E DI SNERVAMENTO (9)



Famiglie eliminate: ABS, ASTM, alcune leghe di alluminio, PA, carbon steel, e la maggior parte dei materiali plastici . RISULTATO:1047 SU 2727

## 2°STAGE: PREZZO-DENSITA'(1)

Prezzo barriera= 25€/m

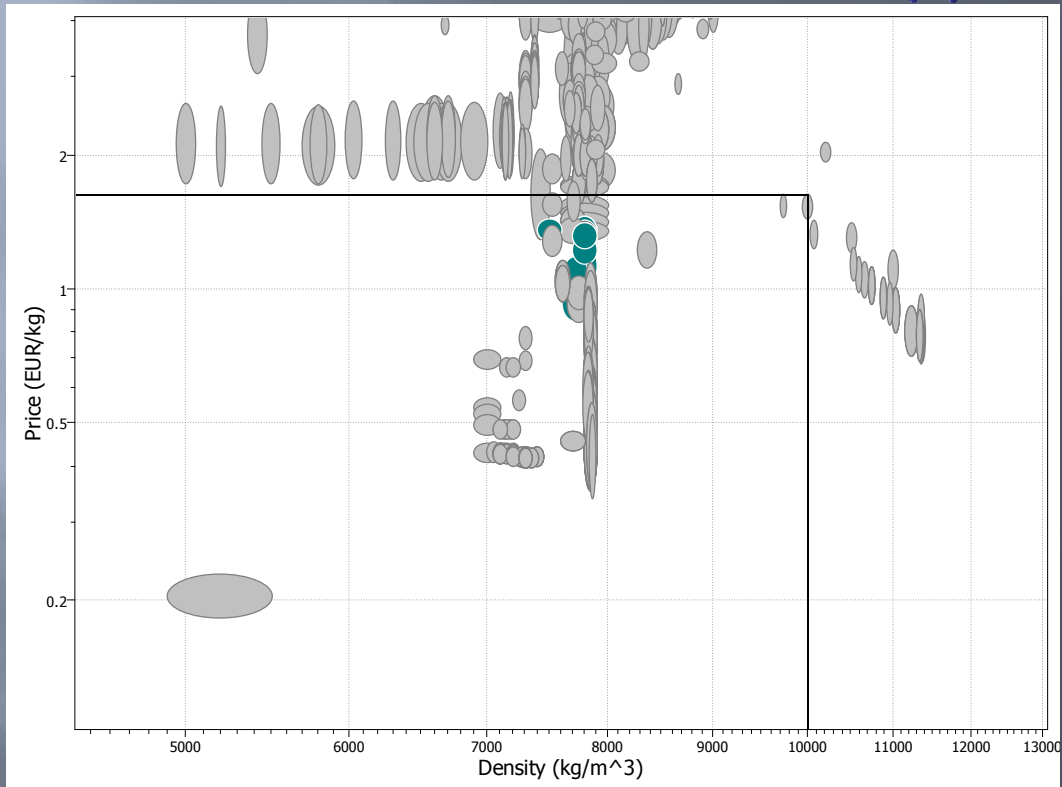


1,7 €/kg

Peso barriera=15 kg/m



## 2° STAGE: PREZZO-DENSITA'(2)



*Famiglie eliminate:* le leghe di zinco, nichel-cromo, gli acciai inossidabili austenitici, le leghe di alluminio 5000-6000-7000, leghe di tungsteno, titanio, nichel, palladio, platino. **RISULTATO: 570 SU 2727**

## 3° STAGE: DURABILITA'(1)

Properties Apply Clear Close

Flammability	<input checked="" type="checkbox"/> Non-flammable <input type="checkbox"/> Self-extinguishing <input type="checkbox"/> Slow-burning <input type="checkbox"/> Flammable
Fresh water	<input type="checkbox"/> Very Poor <input type="checkbox"/> Poor <input type="checkbox"/> Average <input type="checkbox"/> Good <input checked="" type="checkbox"/> Very Good
Salt water	<input type="checkbox"/> Very Poor <input type="checkbox"/> Poor <input type="checkbox"/> Average <input type="checkbox"/> Good <input checked="" type="checkbox"/> Very Good
Weak acids	<input type="checkbox"/> Very Poor <input type="checkbox"/> Poor <input type="checkbox"/> Average <input type="checkbox"/> Good <input type="checkbox"/> Very Good
Strong acids	<input type="checkbox"/> Very Poor <input type="checkbox"/> Poor <input type="checkbox"/> Average <input checked="" type="checkbox"/> Good <input checked="" type="checkbox"/> Very Good

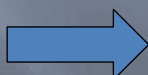
## 3°STAGE: DURABILITA'(2)

Weak alkalis	<input type="checkbox"/> Very Poor <input type="checkbox"/> Poor <input type="checkbox"/> Average <input type="checkbox"/> Good <input type="checkbox"/> Very Good
Strong alkalis	<input type="checkbox"/> Very Poor <input type="checkbox"/> Poor <input type="checkbox"/> Average <input type="checkbox"/> Good <input type="checkbox"/> Very Good
Organic solvents	<input type="checkbox"/> Very Poor <input type="checkbox"/> Poor <input type="checkbox"/> Average <input type="checkbox"/> Good <input type="checkbox"/> Very Good
Sunlight (UV radiation)	<input type="checkbox"/> Very Poor <input type="checkbox"/> Poor <input type="checkbox"/> Average <input type="checkbox"/> Good <input checked="" type="checkbox"/> Very Good
Oxidation at 500C	<input type="checkbox"/> Very Poor <input type="checkbox"/> Poor <input type="checkbox"/> Average <input type="checkbox"/> Good <input type="checkbox"/> Very Good

## 3°STAGE: DURABILITA'(3)

### VINCOLO TERMICO

▼ Thermal			
	Minimum	Maximum	
Melting point	<input type="text"/>	<input type="text"/>	°C
Glass temperature	<input type="text"/>	<input type="text"/>	°C
Maximum service temperature	90	<input type="text"/>	°C
Minimum service temperature	<input type="text"/>	-30	°C
Thermal conductivity	<input type="text"/>	<input type="text"/>	W/m.K
Specific heat	<input type="text"/>	<input type="text"/>	J/kg.K
Thermal expansion coefficient	<input type="text"/>	<input type="text"/>	μstrain/°C




MATERIALE RICICLABILE

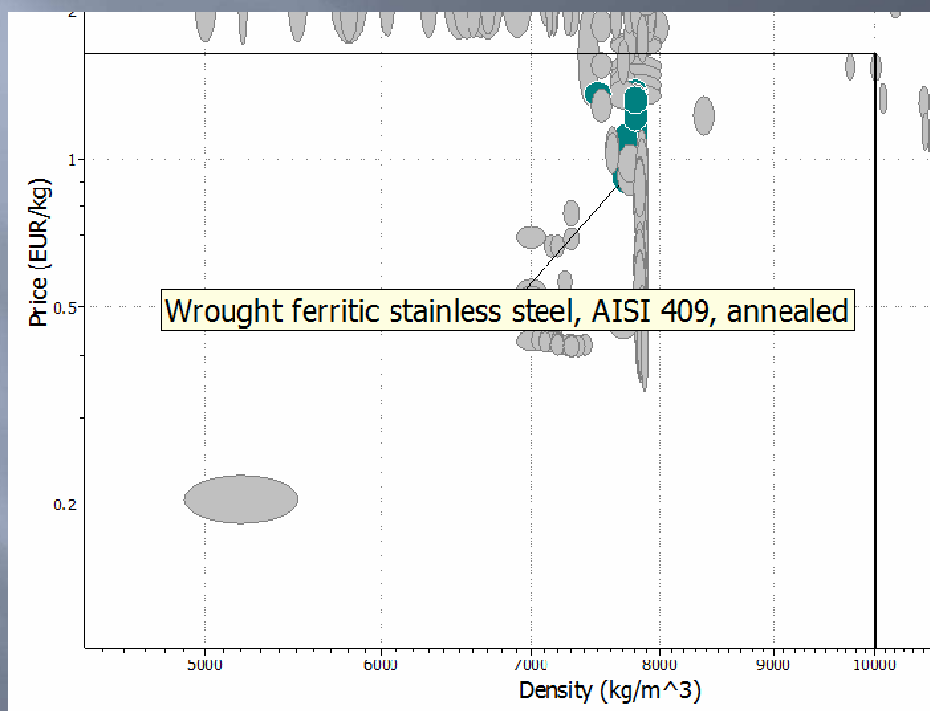
RISULTATO: 763 SU 2727



# 4°STAGE: PROCESSI DI LAVORAZIONE

Link Record	Number Passed
 ProcessUniverse: \ Shaping \ Deformation \ Sheet \ Stamping	1107 <a href="#">Show</a>
 ProcessUniverse: \ Shaping \ Deformation \ Sheet \ Roll forming	1104 <a href="#">Show</a>
 ProcessUniverse: \ Shaping \ Deformation \ Sheet \ Press forming	1166 <a href="#">Show</a>
 ProcessUniverse: \ Shaping \ Deformation \ Forging / rolling \ Cold shape rolling	1169 <a href="#">Show</a>
 ProcessUniverse: \ Shaping \ Deformation \ Forging / rolling \ Hot shape rolling	1243 <a href="#">Show</a>

## RISULTATO FINALE



RISULTATO: 25 SU 2727

Il materiale risultante dalle nostre scelte e dalla nostra analisi risulta essere un **acciaio inossidabile ferritico AISI 409**



# PROCESSO PRODUTTIVO ATTUALE

Decapaggio

Laminazione  
a freddo

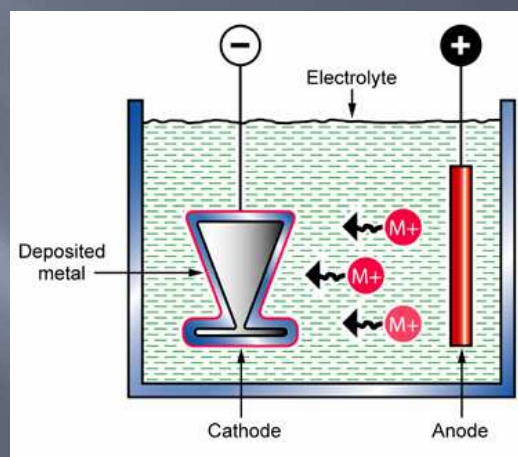
Zincatura a  
caldo

Taglio

## ZINCATURA A CALDO

### STEP

- Immersione del componente in un bagno fuso di zinco
- Il componente funge da catodo
- Avviene la migrazione di ioni metallici che formano un film micrometrico sul componente

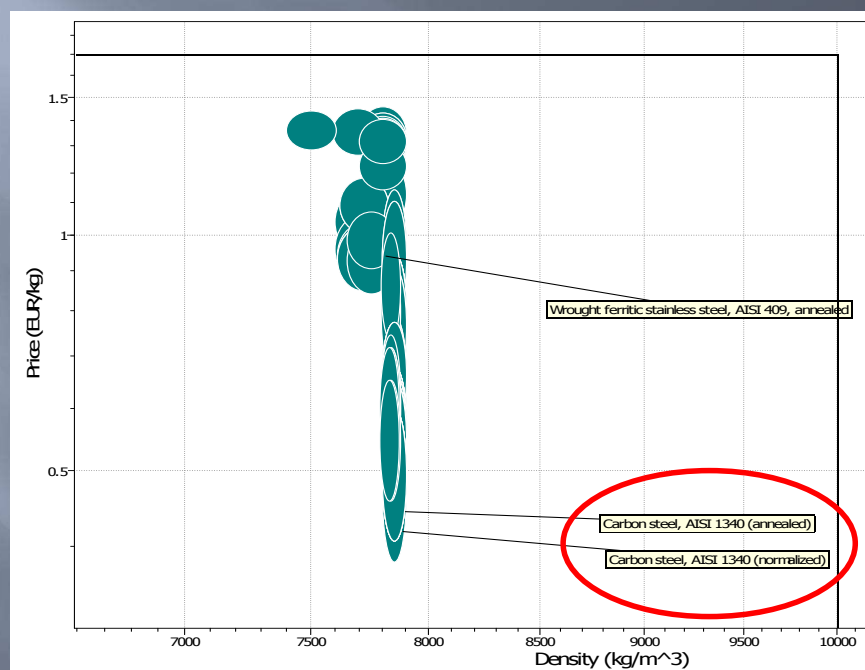


OBIETTIVO → MIGLIORARE LA RESISTENZA ALLA CORROSIONE

# ZINCATURA A CALDO??



## RISULTATO CON ZINCATURA A CALDO



I carbon steel risultano essere più economici degli acciai inossidabili ferritici (scelta precedente: AISI 409), ma devono subire necessariamente un trattamento di zincatura per garantire un'ottima durabilità

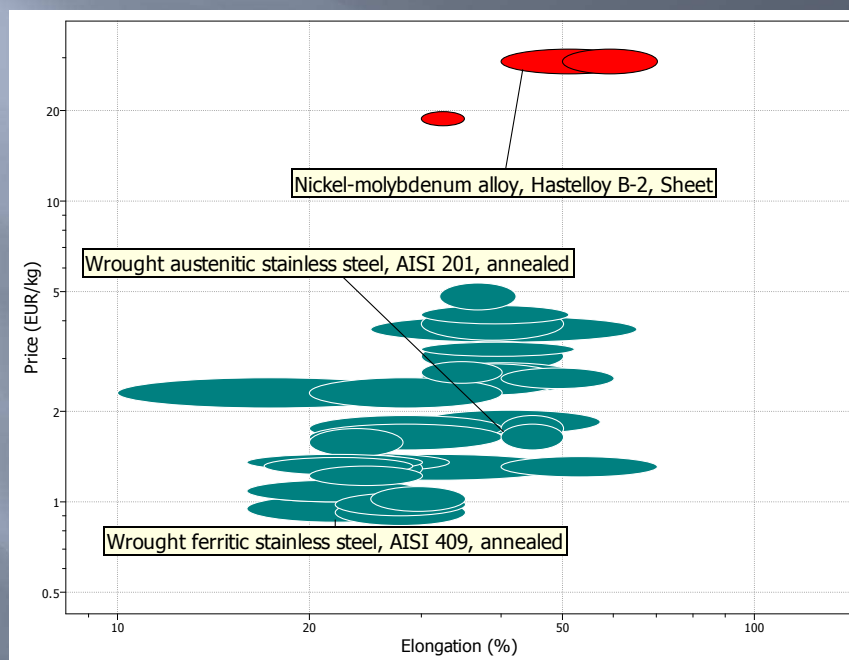
# APPROCCIO ALTERNATIVO

La normativa stabilisce che il materiale del guard rail deve essere di qualità non inferiore all'acciaio S 235 JR.

I nuovi vincoli sono:

- $R_p > 235$  MPa
- $R_m > 360$  MPa
- $A_n > 26\%$
- $E$  (modulo di Young)  $> 198.000$  MPa
- Vincoli di processi inclusa la zincatura
- Composizione: P max 0,04% , S max 0,04 % e Si 0%

## RISULTATO



E' possibile notare come il risultato coincide con quello precedentemente trovato, anche se vi è una nuova famiglia presente in questa schermata, ovvero gli acciai inossidabili austenitici.

Il materiale scelto è comunque quello con il prezzo inferiore: AISI 409.

# AISI 409

# VS

# S 235 JR

## AISI 409 (SCELTO)

- tensione di rottura = 415-495 MPa
- tensione di snervamento = 205-295 Mpa
- modulo di Young = 195-205 GPa
- allungamento = 17-30 %

## S 235 JR (NORMATIVA)

- tensione di rottura = 360 MPa
- tensione di snervamento = 235 MPa
- modulo di Young = 198 GPa
- allungamento = 20-30%

## CONCLUSIONI (1)

I risultati ottenuti in entrambe le analisi, non sono poi così differenti; il criterio di scelta, quindi, per la decisione finale è quello di minimizzazione del prezzo.

In entrambi i casi si può notare la presenza della famiglia degli acciai inossidabili ferritici, in particolare AISI 409, ottimo se si considera la prima analisi, meno conveniente se la scelta viene fatta sulla seconda analisi.

## CONCLUSIONI (2)

Per cui la scelta ottimale deve essere fatta sulla base di trade-off:

- costo del materiale (variabile nel tempo),
- costo del processo di lavorazione,
- qualità superficiale,
- durabilità nel tempo.

Questo significa che si dovrà svolgere un'analisi dei costi, in fase di progettazione, per determinare se è più conveniente realizzare il guard rail con un materiale che possiede delle caratteristiche proprie di resistenza alla corrosione oppure utilizzare un materiale su cui è necessario effettuare un trattamento superficiale.

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PADOVA  
FACOLTA' DI INGEGNERIA



*Corso di Laurea Specialistica in Ingegneria Gestionale*

Corso di  
Innovazione nella Realizzazione di Prodotti Metallici

*Scelta del materiale per la realizzazione di un  
GUARD RAIL mediante il software Cambridge  
Engineering Selector 2007*



**Studenti:** Alessia Chielon Boscolo  
Giulia Finetto  
Chiara Franzolin  
Rossella Rosa  
Valeria Sturba  
Vito Angelo Virgilio

**Relatore:** Ing. Giulio Timelli





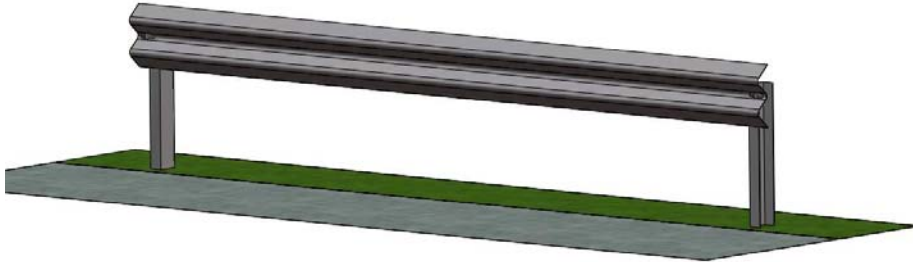
# INDICE

1. INTRODUZIONE: GUARD RAIL N2.....	- 5 -
2. LA FORMA DEL GUARD RAIL.....	- 9 -
3. ANALISI DELL'URTO DEL VEICOLO CONTRO IL GUARD RAIL.....	- 12 -
3.1 Conservazione dell'energia cinetica .....	- 12 -
3.2 Tensioni di rottura e di snervamento minime.....	- 15 -
3.3 Calcolo dell'allungamento a rottura massimo ( $A_n$ ).....	- 15 -
3.4 Stima dell'energia dinamica specifica .....	- 17 -
4. ANALISI CON IL SOFTWARE CES_2007 .....	- 21 -
4.1 Funzione .....	- 21 -
4.2 Obiettivi .....	- 21 -
4.3 Vincoli .....	- 22 -
RELAZIONE $R_p, R_m, A_n$ .....	- 22 -
ALLUNGAMENTO A ROTTURA.....	- 22 -
PREZZO .....	- 23 -
DURABILITA' E TEMPERATURA DI ESERCIZIO .....	- 24 -
PROCESSI DI LAVORAZIONE .....	- 26 -
RISULTATO FINALE.....	- 27 -
5. IL MATERIALE CON CUI VENGONO REALIZZATI I GUARD RAIL IN ITALIA: L'ACCIAIO COR-TEN .....	- 29 -
5.1 Il processo produttivo attuale adottato dai principali costruttori italiani ....	- 31 -
6. LA SOLUZIONE SEMPLIFICATA A PARTIRE DAL D.M. 223 DEL 18.02.1992.....	- 32 -
7. CONCLUSIONI .....	- 33 -
BIBLIOGRAFIA.....	- 34 -



## 1. INTRODUZIONE: GUARD RAIL N2

Il prodotto scelto per l'analisi mediante CES\_2007, software che permette l'individuazione di una famiglia di materiali con cui è preferibile realizzarlo, è una barriera stradale bordo laterale a due onde: guard rail N2.



*Figura 1: prospetto del guard rail di tipo N2*

Le barriere di contenimento sono strutture dedicate alla sicurezza passiva della strada che devono essere in grado di resistere ad urti particolarmente gravosi, evitando anche il ribaltamento del mezzo. Al tempo stesso non devono risultare troppo rigide per i veicoli più leggeri. Un efficace sistema di contenimento dovrebbe evitare l'uscita di strada dei veicoli con il minor danno possibile per gli occupanti.

Quindi, le principali funzioni che deve svolgere la barriera sono:

- dissipazione dell'energia cinetica durante l'urto;
- contenimento del veicolo nella carreggiata di percorrenza;
- reindirizzamento della macchina verso la carreggiata.

Il sistema di contenimento deve quindi essere progettato in modo tale da ottenere un compromesso ottimale tra le caratteristiche di elasticità, plasticità e resistenza meccanica.

Sono disponibili molti tipi di barriere di sicurezza stradale, le loro caratteristiche differiscono sia per funzione che per sito di installazione.

In particolare, il guard rail N2 è installato nelle strade dove la velocità degli automezzi è limitata ed il traffico presente è scarso, come strade urbane di scorrimento in laterale o di quartiere o strade locali.

Vi sono normative di riferimento, quali la UNI EN 1317 e il D.M. 223 del 18.02.1992, che fissano le istruzioni tecniche per la progettazione, l'omologazione e l'impiego delle barriere stradali di sicurezza e le prestazioni tecniche per le prove ai fini dell'omologazione.

In particolare, la normativa definisce alcune grandezze per l'omologazione delle barriere stradali: il livello di contenimento ( $L_c$ ), l'indice di severità dell'accelerazione (ASI) e la velocità teorica di impatti della testa (THIV).

Il livello di contenimento è l'energia cinetica che la barriera è in grado di assorbire con riferimento alla componente ortogonale della velocità ed è definito come segue:

$$L_c = \frac{1}{2} m (v \sin \theta)^2$$

in cui:

$L_c$  : livello di contenimento [kJ];

$M$ : massa del veicolo che impatta sulla barriera [ton];

$v$ : velocità di impatto [m/s];

$\theta$ : l'angolo di impatto [gradi].

L'indice di severità dell'accelerazione fornisce, invece, una misura quantitativa della severità del moto del veicolo per una persona seduta . Esso è espresso come:

$$ASI = \sqrt{\left[ \left( \frac{a_x}{12g} \right)^2 + \left( \frac{a_y}{9g} \right)^2 + \left( \frac{a_z}{10g} \right)^2 \right]}$$

con:

$a_x, a_y, a_z$  valori limite per le componenti dell'accelerazione lungo gli assi del veicolo  $x$  (direzione del veicolo),  $y$  (direzione perpendicolare la barriera),  $z$  (direzione perpendicolare al terreno).

La velocità teorica d'urto della testa indica, invece, la severità dell'urto del veicolo con la barriera di sicurezza espresso come:

$$THIV = \sqrt{[V_x^2(T) + V_y^2(T)]}$$

Nell'analisi che verrà condotta in seguito, si considera solamente l'indice relativo al livello di contenimento dell'urto in quanto è il parametro che si riferisce al guard rail, mentre gli altri due si riferiscono ai passeggeri che sono presenti nel veicolo. Quindi, per semplificare la trattazione, si considera il sistema veicolo-uomo come un unico corpo.

Per classificare i vari tipi di barriera di contenimento, viene considerato il tipo di traffico che interessa la strada sul quale verrà utilizzato. E' possibile, infatti, distinguere 3 diversi tipi di traffico in base al traffico giornaliero medio annuale nei due sensi di marcia (TGM) e la percentuale di veicoli di massa superiore ai 3000 kg presenti nella strada rispetto al totale (n veicoli pesanti):

traffico tipo I: TGM < 1000 e n veicoli pesanti < 5%

traffico tipo II: TGM > 1000 e 5% < n veicoli pesanti < 15%

traffico tipo III: TGM > 1000 e n veicoli pesanti > 15%.

Tipo di strade	Traffico	Barriere spartitraffico	Barriere bordo laterale	Barriere bordo ponte
Autostrade e strade extraurbane principali	I	H2	H1	H2
	II	H3	H2	H3
	III	H3-H4	H3-H4	H4
Strade extraurbane secondarie e strade di scorrimento	I	H1	N1	N2
	II	H2	H1	H2
	III	H2	H2	H3
Strade urbane di quartiere e strade locali	I	N2	N1	H2
	II	H1	N2	H2
	III	H1	H1	H2

Tabella 1: classificazione del tipo di traffico

Riassumendo:

- DESCRIZIONE: la barriera stradale oggetto dello studio è una barriera a due onde (N2), impiegata a bordo laterale di strade urbane di quartiere e strade locali come indica la *Tabella 1*.
- FUNZIONE: contenere e rinviare il veicolo senza che gli elementi longitudinali della barriera si rompano completamente o costituiscano un pericolo improprio per il restante traffico.
- CARATTERISTICHE TECNICHE: Peso: 14,37 kg/m
  - nastro a doppia onda:
    - lunghezza: 4000 mm
    - spessore: 2,5 mm
    - altezza: 311 mm
  - paletti (forma a U):
    - larghezza: 104mm
    - profondità: 65mm
    - spessore: 5mm
    - altezza: 700mm

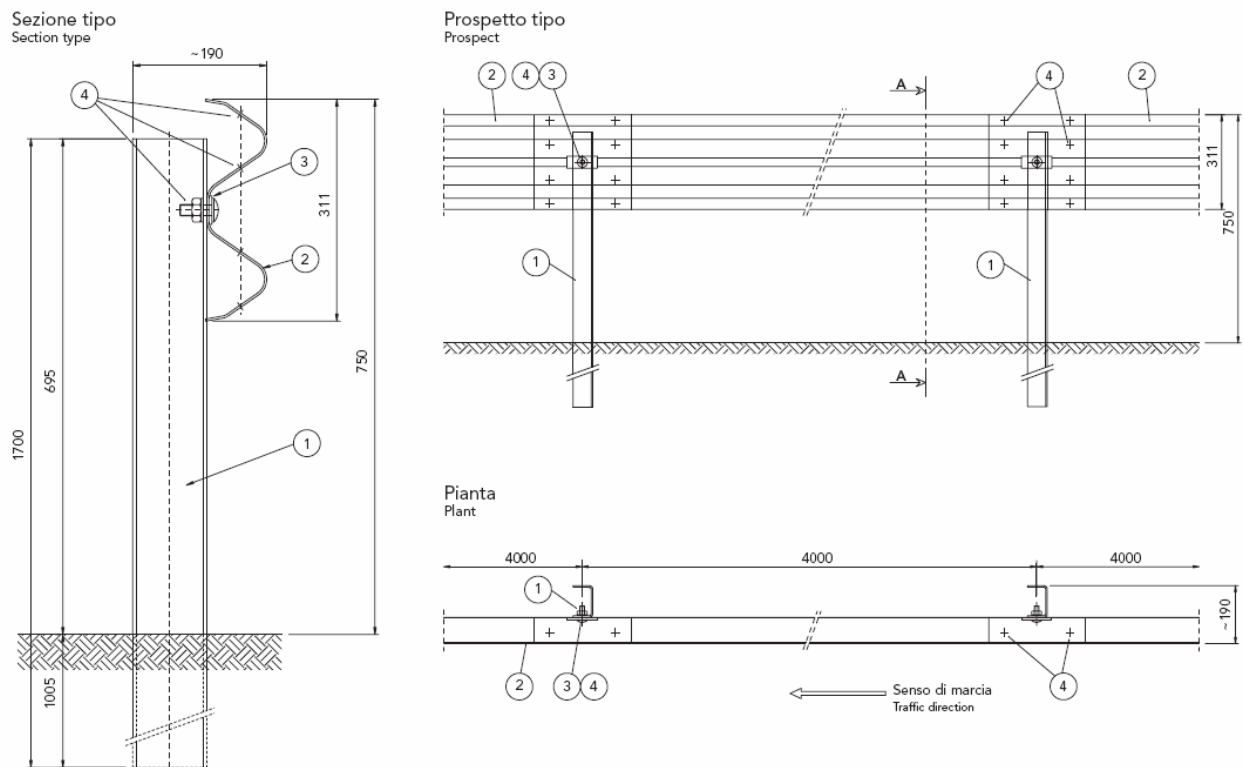


Figura 2: Pianta e sezioni del guard rail N2 ( fonte [www.marcegaglia.com](http://www.marcegaglia.com) )

Le principali aziende produttrici di guard rail sono: Marcegaglia, Imeva Spa, Fracasso Spa, Tubosider Spa, Car S.r.l., Sct Italia, TUV.

Il materiale attualmente utilizzato è l'acciaio S 235 JR, sigla che indica un acciaio laminato per impieghi strutturali (S), con :

- carico unitario di snervamento minimo prescritto di 235 Mpa (235)
- carico di rottura pari a 369 Mpa
- resilienza di 27 Joule (J) alla temperatura di  $+23^{\circ} \pm 5^{\circ}$  (R).

Su questo materiale è inoltre praticata la zincatura a caldo per far sì che la barriera resista alla corrosione e all'abrasione.

## 2. LA FORMA DEL GUARD RAIL

Nella prima fase di studio ci si è posti l'obiettivo di giustificare la particolare forma del guard rail a doppia onda. A tal fine è stata effettuato un confronto tra una geometria assimilabile a quella comunemente utilizzata ed una ipotizzata di tipo rettangolare.

Poichè si vuole che  $\sigma_{\max} < \sigma_{\text{rottura}}$  e dall'equazione di Navier vale la seguente relazione:

$$\sigma_{\max} = \frac{M_y}{J_{y-y}} \cdot |x| = \frac{M_y}{W_{y-y}} \quad \text{con} \quad W_{y-y} = \frac{J_{y-y}}{|x|}$$

risulterà migliore la sezione con modulo di resistenza a flessione (W) maggiore. In questo modo la resistenza all'urto sarà maggiore a parità di composizione, quantità di materiale utilizzato e momento esterno applicato, garantendo costi minori a parità di sicurezza.

### CASO 1: GEOMETRIA A DOPPIA ONDA

Per il calcolo della W, è possibile schematizzare la geometria a doppia onda con due semianelli di circonferenza perfetta che corrispondono alle due onde tipiche del guard rail.

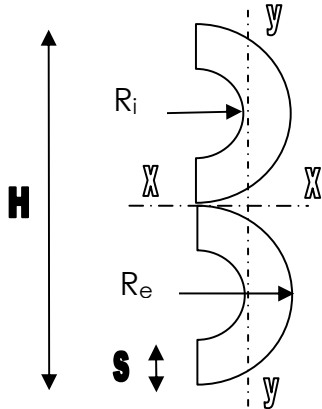


Figura 3: Sezione semplificata a doppia onda

I dati utilizzati per l'analisi sono quelli presenti in *Figura 2*:

altezza (H) = 311 mm,  
spessore (s) = 2.5 mm,

da cui si deducono i raggi dei due semianelli e l'area totale della sezione:

$R_i = 75.25$  mm,  
 $R_e = R_i + s = 77.75$  mm,  
 $R_{\text{medio}} = 76.5$  mm.



Ai fini dell'analisi risulta necessario calcolare l'area della sezione stessa:

$$Area_{sezione} = 2 \cdot \left[ \frac{\pi R_e^2}{2} - \frac{\pi R_i^2}{2} \right] = 2 \cdot \frac{\pi}{2} \cdot (R_e^2 - R_i^2) = 1201.66 mm^2$$

Dato che l'inerzia di un semianello con  $s \ll R$  è:

$$J_{y-y} = R_{medio}^3 \cdot s \cdot \left( \frac{\pi}{2} - \frac{4}{\pi} \right) = 76,5^3 \cdot 2,5 \cdot \left( \frac{\pi}{2} - \frac{4}{\pi} \right) = 333.038 mm^4$$

Allora il momento di inerzia totale di due semianelli congiunti è:

$$J_{y-y}' = 2 \cdot J_{y-y} = 666.076 mm^4$$

Dato che:

$$|x| = \frac{2 \cdot R_{medio}}{\pi} = 48,7 mm$$

allora:

$$W_{y-y} = \frac{666.076 mm^4}{48,7 mm} = 13.677 mm^3$$

## CASO 2: GEOMETRIA RETTANGOLARE

Nell'ipotesi di geometria a sezione rettangolare, a parità di area e di altezza (H) rispetto a quanto sopra riportato, lo spessore risulta essere:

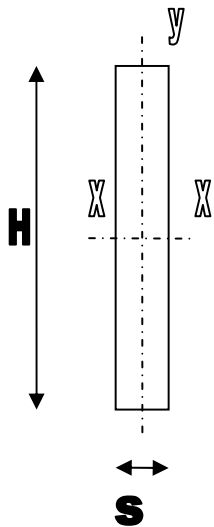


Figura 4: Sezione rettangolare

$$s = \frac{Area}{H} = \frac{1201,66mm^2}{311mm} = 3,86mm$$

In questo caso, l'inerzia di una sezione rettangolare con altezza H e base s è:

$$J_{y-y} = \frac{1}{12} \cdot H \cdot b^3 = \frac{1}{12} \cdot 311 \cdot 3,86^3 = 1490,5mm^4$$

Dato che:

$$|x| = \frac{s}{2} = \frac{3,86mm}{2} = 1,93mm$$

quindi:

$$W_{y-y} = \frac{1490,5mm^4}{1,93mm} = 772,3mm^3$$

Analizzando i due casi, nel primo si ha un valore di  $W_{y-y}$  molto più grande rispetto al secondo. Quindi, dalla formula di Navier precedentemente riportata, a parità di momento  $M_y$ , il valore di  $\sigma_{max}$  risulta molto più bassa nel caso di geometria a doppia onda rispetto a quella rettangolare, quindi più lontana dalla tensione di rottura.

### 3. ANALISI DELL'URTO DEL VEICOLO CONTRO IL GUARD RAIL

#### 3.1 Conservazione dell'energia cinetica

L'obiettivo di questa relazione è quello di analizzare il comportamento dei materiali utilizzabili per la realizzazione di un guard rail.

Al fine di determinare tali caratteristiche si è schematizzato nel seguente modo (Figura 5) l'urto di un veicolo contro una barriera di sicurezza:

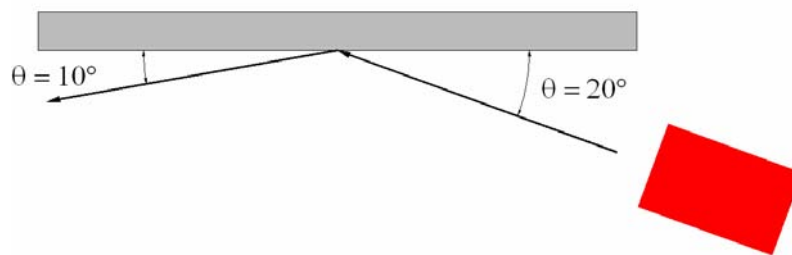


Figura 5: Schema del fenomeno d'urto

I parametri rappresentati in figura 5 hanno il seguente significato:

$v$ : velocità iniziale del veicolo;

$\theta$ : angolo d'urto di incidenza del veicolo con il guard rail;

$v'$ : velocità di uscita del veicolo;

$\theta'$ : angolo di uscita del veicolo dopo l'impatto.

La normativa UNI EN 1317-2 indica in modo quali sono e come devono essere eseguite le prove per omologare la barriera di sicurezza; si definisce, inoltre, il livello di contenimento ( $L_c$ ) della barriera scelta come la quantità di energia che il guard rail deve essere in grado di assorbire in caso di impatto di un veicolo di massa  $m$  con velocità iniziale  $v$  e angolo di impatto  $\theta$ .

Ai fini del calcolo, la normativa indica di tener conto della sola componente perpendicolare alla energia cinetica iniziale, componente che porta alla deformazione laterale della barriera, per cui  $L_c$  risulta essere:

$$L_c = \frac{1}{2}m(v\sin\theta)^2$$

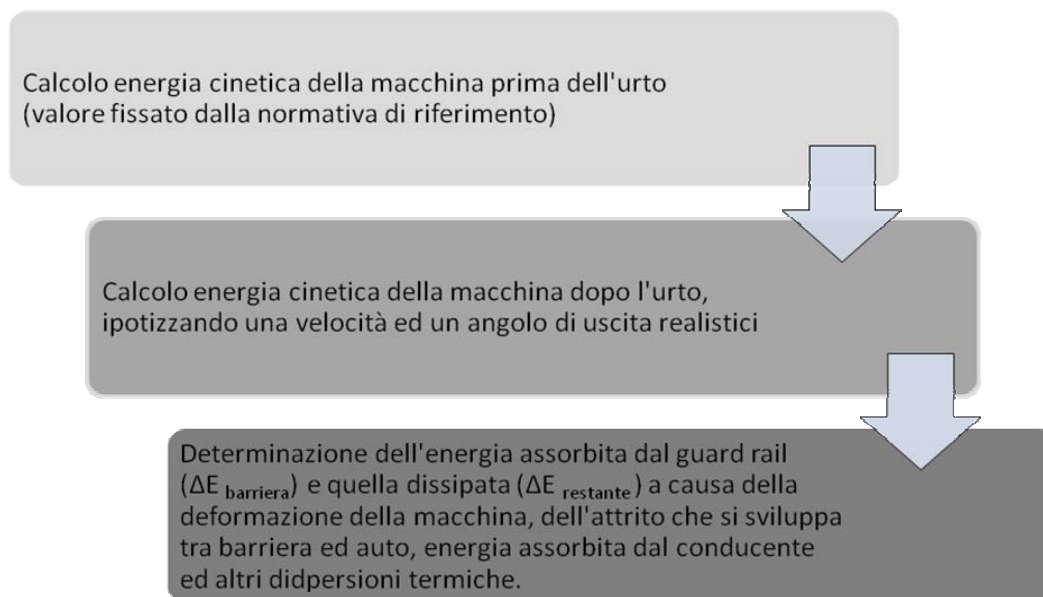
La normativa UNI EN 1317-2 prevede per l'omologazione della barriera N2 le seguenti prove:

1. TB 32: impone l'utilizzo di un veicolo pesante (1500 kg) per verificare il rispetto del livello di contenimento;
2. TB 11: impone l'utilizzo di un veicolo leggero (900 kg) per verificare che il massimo livello di contenimento imposto risulti compatibile anche con la sicurezza per un veicolo leggero.

Prova	Velocità d'urto [km/h]	Angolo d'urto [gradi]	Massa totale del veicolo [kg]	Tipo di veicolo
TB 11	100	20	900	automobile
TB 32	110	20	1500	automobile

Tabella 2: parametri delle prove TB 11 e TB 32

Per ricavare l'energia cinetica dissipata durante l'urto, si seguirà il seguente schema:



Pertanto, vale che:

$$E_{c,iniziale} = E_{c,finale} + \Delta E$$

$$\frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}mv'^2 + \Delta E_{barriera} + \Delta E_{res\ tan\ te}$$

dove:

$\Delta E_{barriera}$ : energia assorbita dal guard rail;

$\Delta E_{restante}$ : energia di deformazione della macchina, energia dissipata per attrito, energia assorbita dal conducente, energia termica dissipata.

Si è ipotizzato che l'energia assorbita dal guard rail sia pari al livello di contenimento definito dalla normativa.

I calcoli che seguono, sono stati sviluppati prendendo come prova di riferimento quella maggiormente cautelativa, cioè la TB 32, dove  $L_c = 82$  kJ.

Considerando le condizioni iniziali contenute nella *Tabella 2* e ipotizzando le seguenti condizioni di uscita dall'urto (ipotesi coerenti con molti crash test analizzati):

$$\begin{aligned} m &= 1500 \text{ kg;} \\ v' &= 90 \text{ km/h;} \\ \theta' &= 10^\circ; \end{aligned}$$

si trovano i seguenti valori:

$$\begin{aligned} E_{c, \text{iniziale}} (\text{energia cinetica iniziale}) &= 700 \text{ kJ} \\ E_{c, \text{finale}} (\text{energia cinetica finale}) &= 469 \text{ kJ} \\ \Delta E_{\text{barriera}} (\text{energia di deformazione della barriera}) &= 82 \text{ kJ} \end{aligned}$$

da cui si risulta che:

$$\Delta E_{\text{resistente}} = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mv'^2 - \Delta E_{\text{barriera}} = 149 \text{ kJ}$$

Da questi dati si può ricavare una valutazione quantitativa di come l'energia ceduta durante l'urto venga ripartita tra il guard rail e gli altri elementi:

$$\frac{\Delta E_{\text{resistente}}}{E_{c, \text{iniziale}}} = 21\%$$

$$\frac{\Delta E_{\text{barriera}}}{E_{c, \text{iniziale}}} = 12\%$$

E' possibile notare come l'energia dissipata sia circa pari al 33%.

Il guard rail ha subito, ovviamente, prima una deformazione elastica e poi una deformazione plastica.

Nota l'energia dinamica  $\Delta E_{\text{barriera}}$  che la barriera deve assorbire in caso di urto e la geometria del guard rail, si vuole trovare una relazione che consenta di individuare le caratteristiche meccaniche del materiale da utilizzare per la costruzione della barriera. Tali caratteristiche sono  $R_p$  (tensione di snervamento),  $R_m$  (tensione di rottura),  $A_n$  (allungamento a rottura) e  $\Delta E_{\text{dyn}}$  (l' energia assorbita in condizioni dinamiche).

### 3.2 Tensioni di rottura e di snervamento minime

Il decreto ministeriale 223 del 18.12.1992 impone che *tutti gli elementi costituenti la barriera devono essere in acciaio di qualità non inferiore a S 235 JR*.

Materiale	R <sub>p</sub> [Mpa]	R <sub>m</sub> [Mpa]	E [Mpa]
S235JR	235	360	198000

Per semplicità sarà assunto che il materiale utilizzato debba soddisfare la relazione:

$$R_p + R_m = 595 \text{ MPa}$$

quindi, il vincolo che sarà inserito nel software CES è :

$$R_p + R_m \geq 595$$

dal momento che le proprietà meccaniche non devono essere inferiori.

### 3.3 Calcolo dell'allungamento a rottura massimo (A<sub>n</sub>)

Dai dati relativi la prova TB 32 (Tabella 2), il veicolo di riferimento potrebbe essere un' Audi A3, di massa pari a 1500 kg circa e larghezza di 1,77 m.

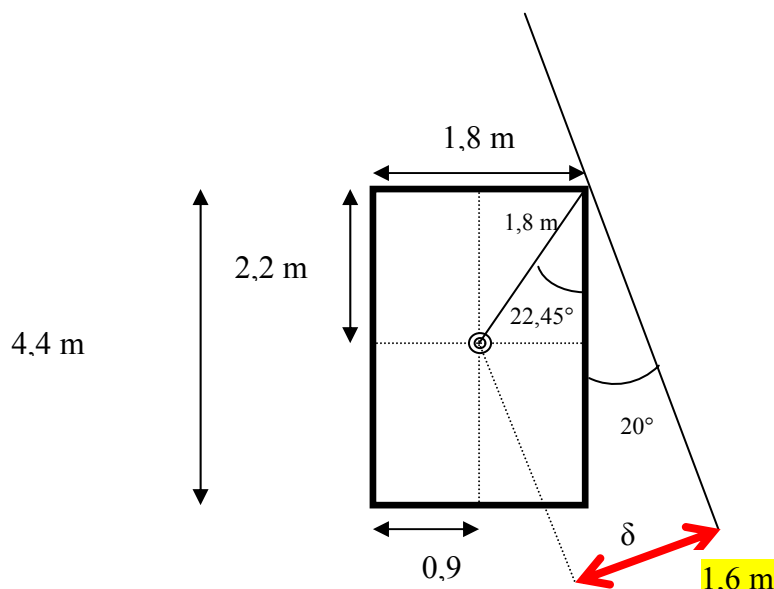


Figura 6: Schema del fenomeno d'urto, individuazione della deformazione trasversale  $\delta$

La normativa UNI EN 1317-2 prevede che dopo l'urto il centro di gravità del veicolo non debba superare la linea centrale della barriera deformata. Pertanto il  $\delta$  rappresentato in figura è proprio la massima deformazione trasversale che può avere la barriera.

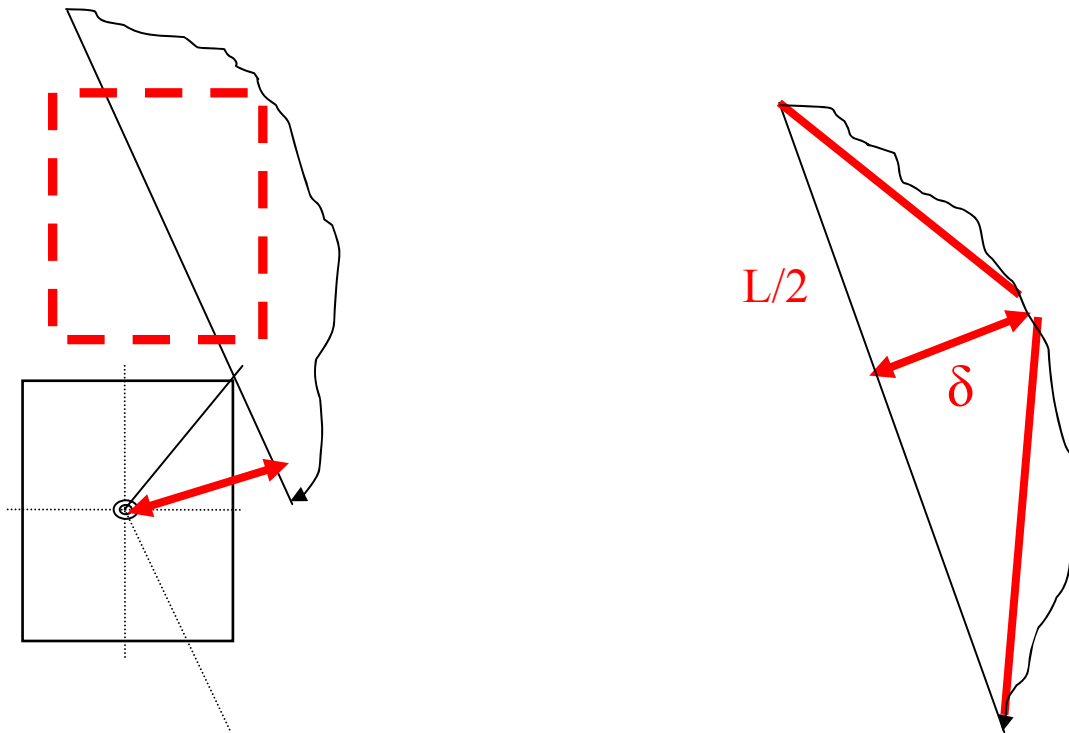


Figura 7: Schema del fenomeno d'urto, determinazione della lunghezza finale  $L_{fin}$

Per valutare la lunghezza finale del guard rail (dopo l'urto), si è semplificata la deformazione approssimandola ad un triangolo per cui, assumendo che la distanza tra un paletto di sostegno e l'altro sia di 4m, risulta che:

$$L_{fin} \cong 2 \cdot \sqrt{\delta^2 + (L/2)^2} = 2 \cdot \sqrt{1,6^2 + 2^2} \cong 5,12m$$

Quindi l'allungamento  $A_n$  risulta:

$$A_n = \frac{L_{fin} - L}{L} \cdot 100 = \frac{5,12 - 4}{4} \cdot 100 \cong 28\%$$

Tuttavia a causa delle semplificazioni adottate imporre una deformazione massima non superiore al 30%.

Il materiale che si sceglierà, dovrà soddisfare il vincolo  $A_n < 30\%$ .

### 3.4 Stima dell'energia dinamica specifica

Si vuole determinare una relazione che leghi i parametri meccanici precedentemente calcolati :

$R_p$  (tensione di snervamento),

$R_m$  (tensione di rottura),

$A_n$  (allungamento a rottura),

$\Delta E_{dyn}$  (l' energia assorbita in condizioni dinamiche).

Considerando la curva  $F - \Delta L$  , l'area sottesa rappresenta l'energia statica per unità di volume assorbita da un provino durante una prova di trazione, calcolata per semplicità come somma di un triangolo e di un parallelogramma.

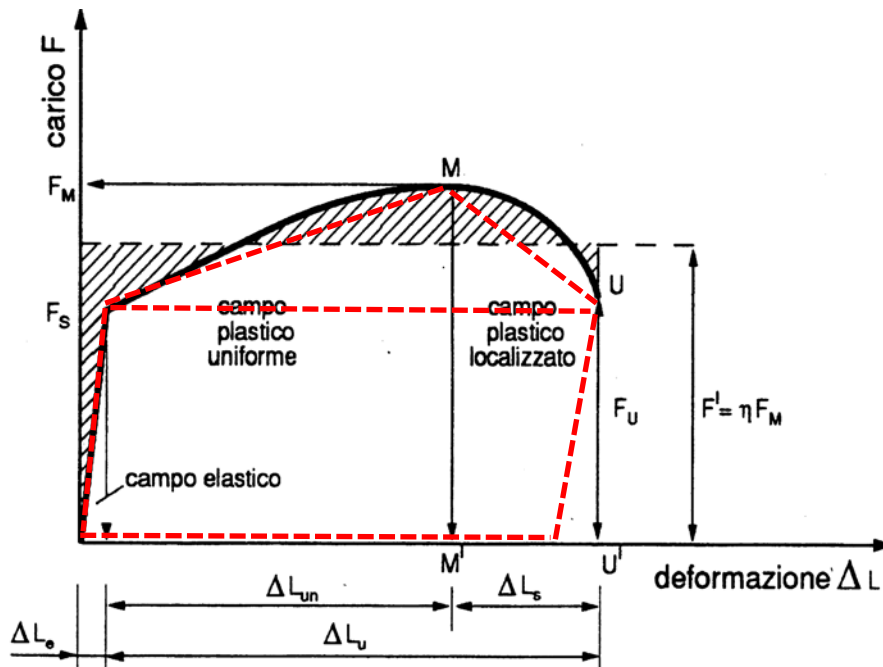


Figura 8: curva  $F - \Delta L$

$$\begin{aligned} \frac{\Delta E}{V} &= A_n \cdot R_p + \frac{(R_m - R_p) \cdot A_n}{2} = \frac{2 \cdot A_n \cdot R_p + (R_m - R_p) \cdot A_n}{2} = \frac{A_n \cdot (2 \cdot R_p + R_m - R_p)}{2} = \\ &= \frac{A_n \cdot (R_p + R_m)}{2} \end{aligned}$$

in cui:

$\Delta E$ : energia assorbita dal campione durante la trazione del provino;

$V$ : volume del provino;

$A_n$ : allungamento a rottura;

$R_p$ : tensione di snervamento;

$R_m$ : tensione di rottura.



E' bene sottolineare come tale relazione leghi l'energia assorbita dal provino in condizioni statiche e non in condizioni dinamiche (condizioni caratteristiche del guard rail dovuto all'impatto del veicolo).

Per cui, si dovrà determinare una relazione del tipo:

$$\alpha = \frac{\Delta E_{statico}}{\Delta E_{dinamico}}$$

Per determinare il coefficiente  $\alpha$ , si è ritenuto opportuno stimarlo attraverso un confronto tra i comportamenti statico-dinamico di due diversi materiali:

- AL 6082 T6
- Fe 304

Primo materiale: AL 6082 T6

Caratteristiche meccaniche:

$$A_n = 10\%$$

$$R_p = 250 - 260 \text{ MPa} (= 255 \text{ MPa})$$

$$R_m = 290 - 310 \text{ MPa} (= 300 \text{ MPa})$$

Facendo riferimento alla formula a pag. 16, risulta che:

$$\frac{\Delta E}{V} = \frac{A_n \cdot (R_p + R_m)}{2} = \frac{0,1 \cdot (255 + 300)}{2} = 27,75 \text{ MPa}$$

Il valore dell'energia assorbita in condizioni dinamiche è stata dedotta durante una prova Charpy:

$$\text{Prova Charpy} = 24 - 32 \text{ J.}$$

Tale valore, per essere maggiormente adattabile al caso del guard rail, che non risulta essere intagliato come il provino utilizzato durante la prova Charpy<sup>1</sup>, si ipotizza essere doppio: il valore assunto è pari a 50J.

L'energia specifica dinamica risulta:

$$\frac{\Delta E}{V} = \frac{50 \text{ J} \cdot 1000}{5500 \text{ mm}^3} = 9,09 \text{ MPa}$$

Rapportando il valore delle due energie, risulta che il coefficiente  $\alpha$  ricercato è pari a 3,05.

---

<sup>1</sup> Le dimensioni del provino intagliato sottoposto alla prova Charpy sono 10mm×10mm×55mm. Quindi il volume risultante è pari a 5500 mm<sup>3</sup>.

## Secondo materiale: Fe 304

Caratteristiche meccaniche:

$$A_n = 55\%$$

$$R_p = 290 \text{ MPa}$$

$$R_m = 621 \text{ Mpa}$$

L'energia specifica statica è:

$$\frac{\Delta E}{V} = \frac{A_n \cdot (R_p + R_m)}{2} = \frac{0,55 \cdot (290 + 621)}{2} = 250,52 \text{ MPa}$$

Nella prova di Charpy, l'energia dinamica è pari a 180J; per quanto osservato precedentemente, questo valore si raddoppia a 360J.

Quindi il calcolo dell'energia specifica dinamica diventa:

$$\frac{\Delta E}{V} = \frac{360 \text{ J} \cdot 1000}{5500 \text{ mm}^3} = 65,45 \text{ MPa}$$

Il rapporto  $a$  è uguale a 3,82.

Per i calcoli successivi, si è scelto di utilizzare in modo cautelativo un valore di  $a$  pari a 3,82.

Per calcolare l'energia dinamica specifica  $\frac{\Delta E_{dyn}}{V}$  nel caso in esame, è necessario

calcolare il volume totale del materiale soggetto a deformazione.

Tale valore è pari alla somma del volume della barriera longitudinale e dei paletti<sup>2</sup>.

Quindi:

$$V_{barra} = Area \cdot L = 1201,66 \text{ mm}^2 \cdot 4000 \text{ mm} = 4806640 \text{ mm}^3 = 0,0048 \text{ m}^3$$

dove l'area è pari al valore calcolato a pag. 10.

---

<sup>2</sup> Il numero dei paletti considerati è pari a due tenendo conto di una lunghezza deformata di 4 metri.

Per quanto riguarda il calcolo del volume del paletto ci si è riferiti alle dimensioni tratte dalla distinta base dell'azienda Marcegaglia:

BORDO LATERALE - BARRIERA 2 ONDE SINGOLA SU RILEVATO 2-waves single sided guardrail			
Codice Code	Disegno Drawing	Posizione Position	Descrizione Description
59400188	787	1	Palo "U" 104x65x5 H= 1700 mm "U" post 104x65x5 H= 1700 mm
59300244	847	2	Nastro int. 4000 sp. 2,5 mm Beam C/C 4000 th. 2.5 mm
59600455	855	3	Piastrina copriasola 100x40x5 mm Slot covering plate 100x40x4 mm
63800174/175	886/887	4	Bulloni M16 Bolts M16



Fonte [www.marcegaglia.com](http://www.marcegaglia.com)



Figura 9: Vista in prospettiva del paletto di sostegno

$$V_{paletto} = 104 \cdot 5 \cdot 700 + 65 \cdot 5 \cdot 700 \cdot 2 = 819.000 \text{ mm}^3 = 0,000819 \text{ m}^3$$

Il volume totale è:

$$V_{totale} = V_{barra} + 2 \cdot V_{paletti} = 5,24 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

Per cui, la relazione espressa a pag. 17:

$$\frac{\Delta E}{V} = \frac{A_n \cdot (R_p + R_m)}{2}$$

tenendo conto che:

$$\alpha = \frac{\Delta E_{statico}}{\Delta E_{dinamico}} = 3.82$$

porta alla determinazione del vincolo:

$$A_n > \frac{2\alpha\Delta E_{dyn}}{V} \cdot \frac{1}{R_p + R_m}$$

dove sostituendo i valori trovati, e tenendo come incognite  $R_p$ ,  $R_m$ ,  $A_n$ , risulta che:

$$A_n > 2 \cdot \frac{3.82 \cdot 82000}{0.00524 \cdot 10^6} \cdot \frac{1}{R_p + R_m} = 119,5 \cdot \frac{1}{R_p + R_m}$$

#### **4. ANALISI CON IL SOFTWARE CES\_2007**

Nel seguente paragrafo si descrive lo schema logico seguito durante l'analisi condotta attraverso il software CES.

##### **4.1 Funzione**

Le principali caratteristiche funzionali che la barriera stradale deve soddisfare sono:

- resistenza agli urti,
- dissipazione dell'energia cinetica durante l'urto,
- contenimento e redirezionalità del veicolo.

##### **4.2 Obiettivi**

Ottenere un compromesso ottimale tra:

- elasticità,
- plasticità,
- resistenza meccanica

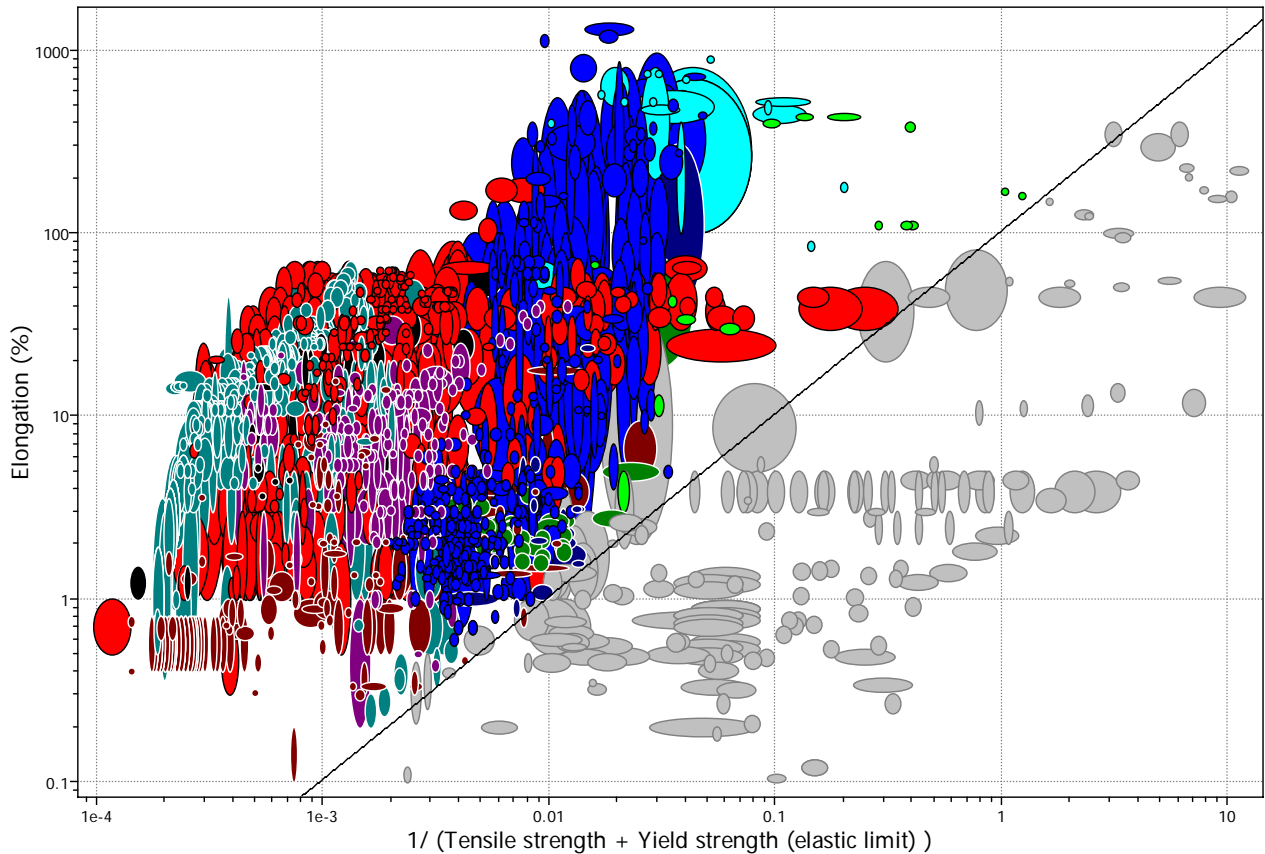
Quindi:

- massima deformazione plastica
- massima resistenza a rottura
- durabilità nel tempo.

### 4.3 Vincoli

#### RELAZIONE $R_p, R_m, A_n$

$$A_n > 2 \cdot \frac{3.82 \cdot 82000}{0.00524 \cdot 10^6} \cdot \frac{1}{R_p + R_m} = 119,5 \cdot \frac{1}{R_p + R_m}$$



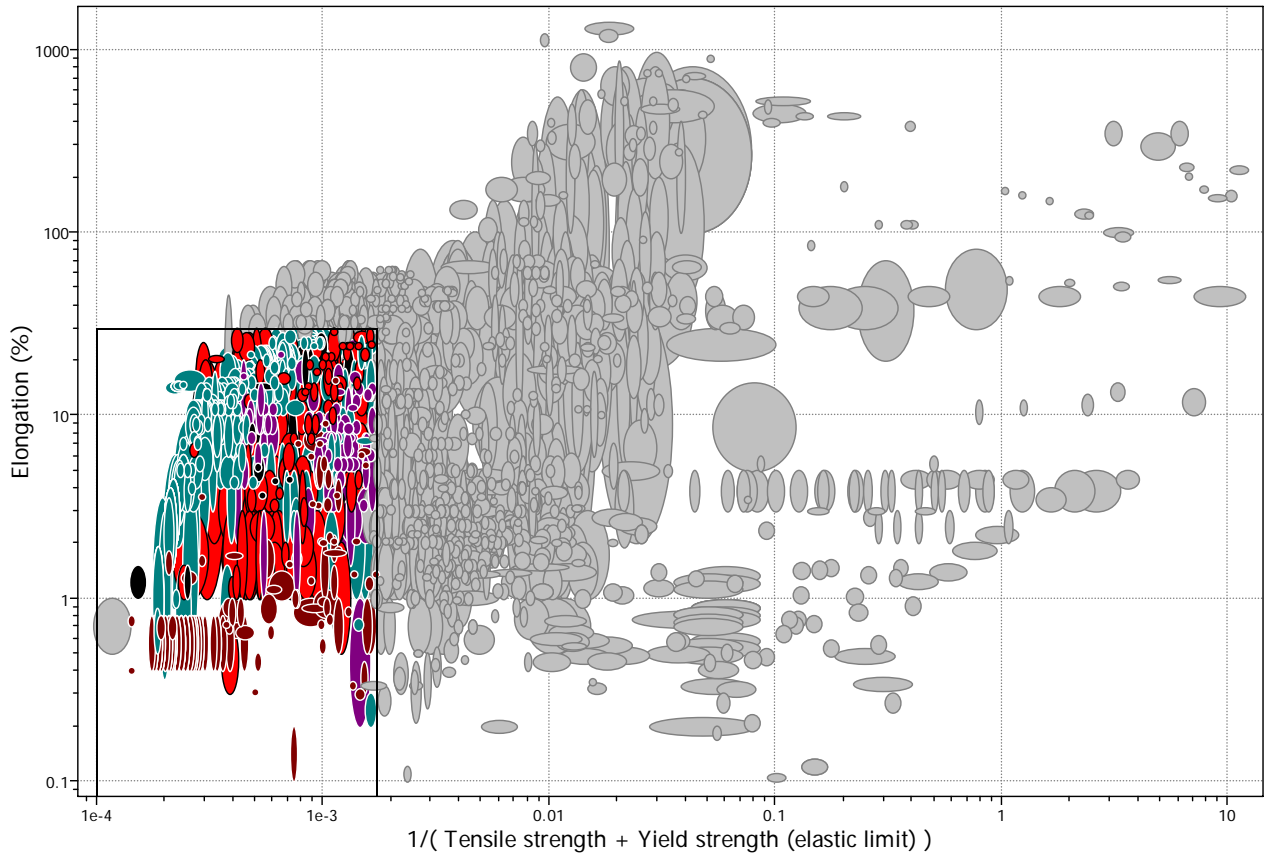
Imponendo questo primo vincolo, sono state eliminate le seguenti macro famiglie: alluminio puro, schiume di alluminio, borosilicati, ceramici, grafite, schiume fenoliche, schiume di polistirene, di poliuretano, silicati, zirconio.

Risultato: 2430 su 2727 materiali

#### ALLUNGAMENTO A ROTTURA

Abbiamo poi imposto che l'allungamento a rottura fosse non superiore al 30% e che allo stesso tempo il rapporto  $\frac{1}{R_p + R_m} < 0,00168$ .

Nel grafico quindi la selezione risulta essere un'area rettangolare.



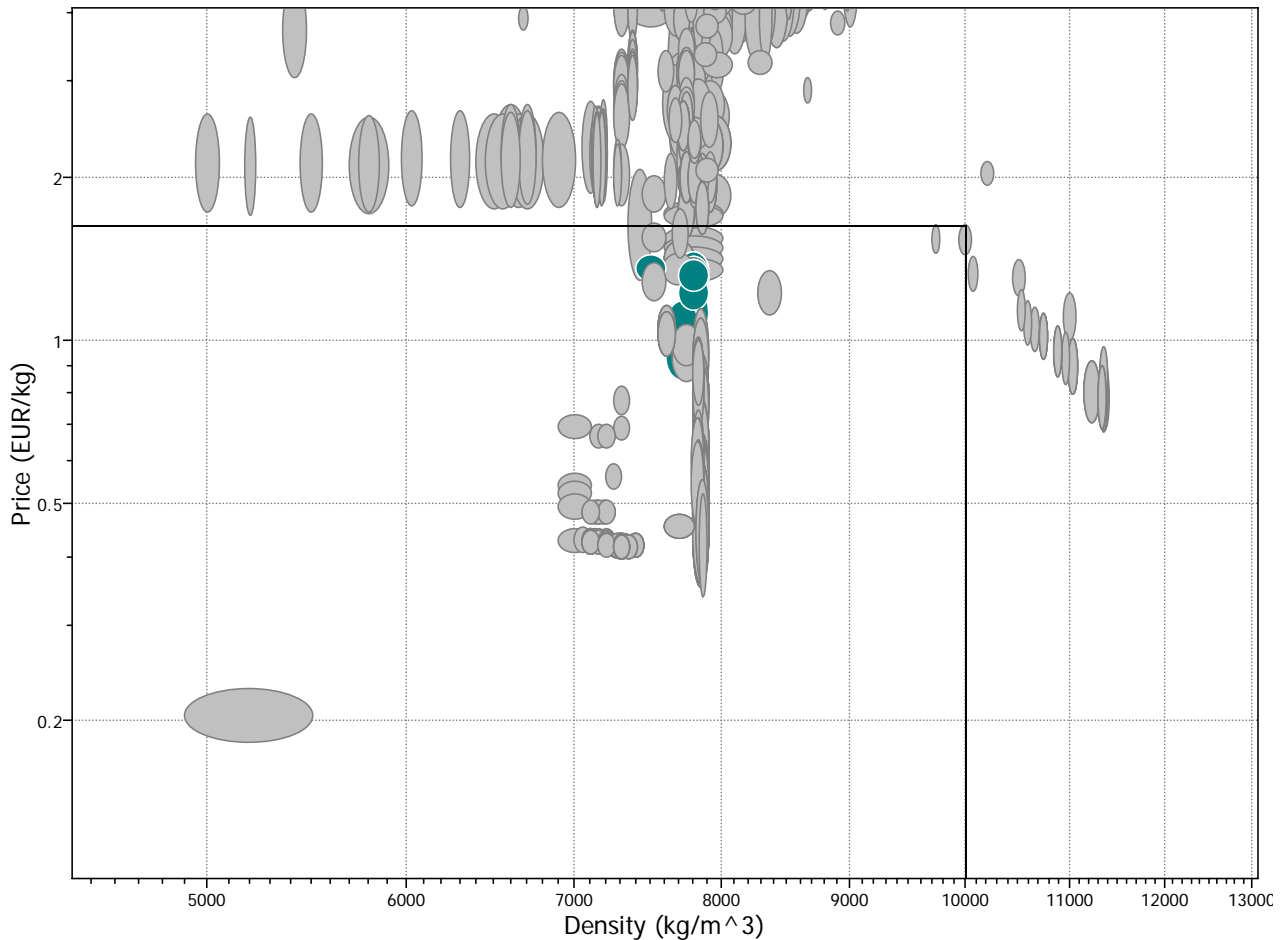
Con questo passaggio, il software ha ulteriormente scremato i materiali, eliminando: ABS, ASTM, alcune leghe di alluminio, PA, carbon steel, PC.

*Risultato: 1047 su 2727 materiali*

### **PREZZO**

Attraverso indagini di mercato si è trovato che i prezzi attuali sul mercato delle barriere stradali non superano i 25€/m. Ammettendo che la barriera pesi 15 kg/m, si trova che il prezzo/kg debba essere minore di 1,7€/kg.

Inoltre, si è posto un vincolo sulla densità, al fine di avere un guard rail non troppo pesante in modo che siano agevolate la movimentazione ed il montaggio. Tale vincolo non esclude comunque ulteriori materiali.



Con questo stage sono state eliminate: le leghe di zinco, nichel-cromo, gli acciai inossidabili austenitici, le leghe di alluminio 5xxx-6xxx-7xxx, leghe di tungsteno, titanio, nichel, palladio, platino.

Risultato: 580 su 2727.

### **DURABILITA' E TEMPERATURA DI ESERCIZIO**

E' fondamentale che la barriera stradale resista all'ambiente esterno in maniera ottimale. In particolare risulta importante che, in caso di incidente, il guard rail non si infiammi; inoltre trovandosi a bordo strada deve resistere agli agenti atmosferici:

- acqua dolce (average - good very - good);
- acqua salata, se posto in prossimità di località marina (average - good very - good);
- smog;
- piogge acide(average - good very - good);
- raggi UV (good very - good).

Per questo si sono inseriti i seguenti vincoli di tipo qualitativo:

▼ Durability	
Flammability	<input checked="" type="checkbox"/> Non-flammable <input type="checkbox"/> Self-extinguishing <input type="checkbox"/> Slow-burning <input type="checkbox"/> Flammable
Fresh water	<input type="checkbox"/> Very Poor <input type="checkbox"/> Poor <input checked="" type="checkbox"/> Average <input checked="" type="checkbox"/> Good <input checked="" type="checkbox"/> Very Good
Salt water	<input type="checkbox"/> Very Poor <input type="checkbox"/> Poor <input checked="" type="checkbox"/> Average <input checked="" type="checkbox"/> Good <input checked="" type="checkbox"/> Very Good
Weak acids	<input type="checkbox"/> Very Poor <input type="checkbox"/> Poor <input type="checkbox"/> Average <input type="checkbox"/> Good <input type="checkbox"/> Very Good
Strong acids	<input type="checkbox"/> Very Poor <input type="checkbox"/> Poor <input checked="" type="checkbox"/> Average <input checked="" type="checkbox"/> Good <input checked="" type="checkbox"/> Very Good
Weak alkalis	<input type="checkbox"/> Very Poor <input type="checkbox"/> Poor <input type="checkbox"/> Average <input type="checkbox"/> Good <input type="checkbox"/> Very Good
Strong alkalis	<input type="checkbox"/> Very Poor <input type="checkbox"/> Poor <input type="checkbox"/> Average <input type="checkbox"/> Good <input type="checkbox"/> Very Good
Organic solvents	<input type="checkbox"/> Very Poor <input type="checkbox"/> Poor <input type="checkbox"/> Average <input type="checkbox"/> Good <input type="checkbox"/> Very Good
Sunlight (UV radiation)	<input type="checkbox"/> Very Poor <input type="checkbox"/> Poor <input type="checkbox"/> Average <input checked="" type="checkbox"/> Good <input checked="" type="checkbox"/> Very Good
Oxidation at 500C	<input type="checkbox"/> Very Poor <input type="checkbox"/> Poor <input type="checkbox"/> Average <input type="checkbox"/> Good <input type="checkbox"/> Very Good



Si è ipotizzato che le temperature di esercizio del nostro componente possano oscillare tra 90°C, nel caso di una prolungata esposizione al sole, e - 30°C nel caso di un suo impiego in località montane durante la stagione invernale.

▼ Thermal			
	Minimum	Maximum	
Melting point	<input type="text"/>	<input type="text"/>	°C
Glass temperature	<input type="text"/>	<input type="text"/>	°C
Maximum service temperature	90	<input type="text"/>	°C
Minimum service temperature	<input type="text"/>	-30	°C
Thermal conductivity	<input type="text"/>	<input type="text"/>	W/m.K
Specific heat	<input type="text"/>	<input type="text"/>	J/kg.K
Thermal expansion coefficient	<input type="text"/>	<input type="text"/>	µstrain/°C

Inoltre, è stato imposto che il materiale debba essere riciclabile terminato il suo ciclo di vita utile.

Risultato: 763 su 2727

### PROCESSI DI LAVORAZIONE

Le lavorazioni con le quali è possibile ottenere la forma del guard rail sono:

- stamping,
- roll forming,
- press forming,
- cold/hot shape rolling.

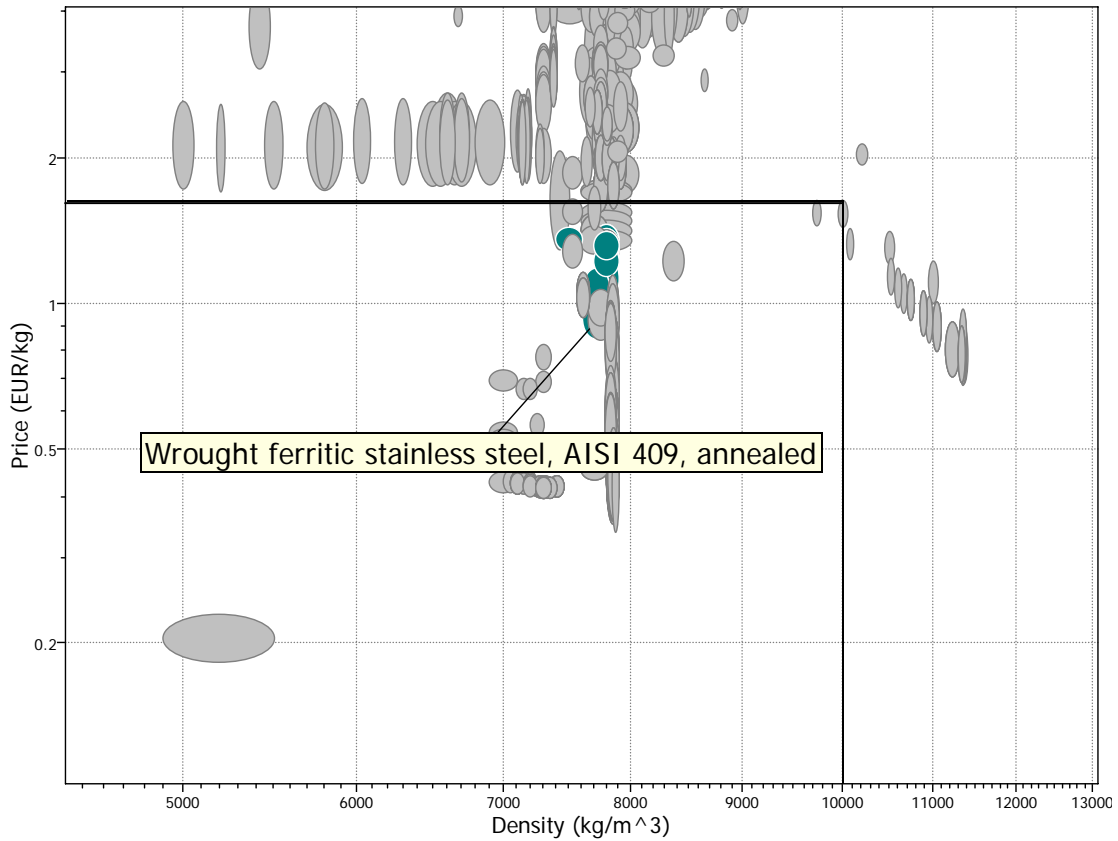
Link Record	Number Passed
 ProcessUniverse: \ Shaping \ Deformation \ Sheet \ Stamping	1107 <a href="#">Show</a>
 ProcessUniverse: \ Shaping \ Deformation \ Sheet \ Roll forming	1104 <a href="#">Show</a>
 ProcessUniverse: \ Shaping \ Deformation \ Sheet \ Press forming	1166 <a href="#">Show</a>
 ProcessUniverse: \ Shaping \ Deformation \ Forging / rolling \ Cold shape rolling	1169 <a href="#">Show</a>
 ProcessUniverse: \ Shaping \ Deformation \ Forging / rolling \ Hot shape rolling	1243 <a href="#">Show</a>

Questo passaggio elimina: i Cast austenitic stainless steel rispetto ai materiali rimasti imponendo i precedenti vincoli.

Risultato: 1244 su 2727

## RISULTATO FINALE

L'intersezione di tutti i vincoli ha permesso di individuare 30 materiali di possibile impiego per la realizzazione del componente. Si suddividono in due famiglie: acciai inossidabili martensitici e acciai inossidabili ferritici.



La valutazione è stata effettuata considerando il materiale con il miglior compromesso tra vincoli meccanici, di durabilità, tecnologici ed il prezzo. Per cui la scelta è ricaduta su un acciaio inossidabile ferritico AISI 409, le cui caratteristiche sono riportate nella seguente tabella:



## Wrought ferritic stainless steel, AISI 409, annealed

### General

#### Designation

S-Steel: AISI 409, annealed

Density	7610	-	7820	kg/m <sup>3</sup>
Price	* 0.873	-	1.078	EUR/kg

### Composition

#### Composition (summary)

Fe/<.09C/1.5-13Cr/.7Ni/.45-.6Ti/<1Mn/<1Si/<.045P/<.045S

Base	Fe (Iron)			
C (carbon)	0	-	0.09	%
Cr (chromium)	1.5	-	13	%
Fe (iron)	83.52	-	97.35	%
Mn (manganese)	0	-	1	%
Ni (nickel)	0.7			%
P (phosphorus)	0	-	0.045	%
S (sulfur)	0	-	0.045	%
Si (silicon)	0	-	1	%
Ti (titanium)	0.45	-	0.6	%

### Mechanical

Young's modulus	195	-	205	GPa
Shear modulus	75	-	81	GPa
Bulk modulus	144	-	159	GPa
Poisson's ratio	0.275	-	0.285	
Yield strength (elastic limit)	205	-	295	MPa
Tensile strength	415	-	495	MPa
Compressive strength	205	-	295	MPa
Flexural strength (modulus of rupture)	205	-	295	MPa
Elongation	17	-	30	%
Hardness - Vickers	140	-	185	HV
Fatigue strength at 10 <sup>7</sup> cycles	* 231	-	262	MPa
Hardness - vickers	140	-	185	HV
Fatigue strength at 10 <sup>7</sup> cycles	* 231	-	262	MPa
Fracture toughness	* 76	-	135	MPa.m <sup>1/2</sup>
Mechanical loss coefficient	* 1.09e-3	-	1.44e-3	

### Thermal

Melting point	1480	-	1530	°C
Maximum service temperature	700	-	750	°C
Minimum service temperature	-73	-	-43	°C
Thermal conductivity	24	-	28	W/m.K
Specific heat	450	-	500	J/kg.K
Thermal expansion coefficient	10.5	-	12.5	µstrain/°C

### Electrical

Electrical resistivity	55	-	65	µohm.cm
------------------------	----	---	----	---------

### Optical

Transparency	Opaque
--------------	--------

### Durability

Flammability	Non-flammable
Fresh water	Very Good
Salt water	Very Good
Weak acids	Very Good
Strong acids	Good
Weak alkalis	Very Good
Strong alkalis	Average
Organic solvents	Very Good
Sunlight (UV radiation)	Very Good
Oxidation at 500C	Very Good

### Eco properties, material production

Embodied energy	*38.9	- 42.9	MJ/kg
CO2 footprint	*2.44	- 2.7	kg/kg
Recycle fraction	*0.65	- 0.75	

### Eco properties, processing

Casting energy	3.2	- 3.5	MJ/kg
Forging, rolling energy	5.6	- 6.2	MJ/kg
Machining energy (per unit wt removed)	6.3	- 7	MJ/kg
Metal powder forming energy	19	- 21	MJ/kg
Vaporization energy	20	- 22	MJ/kg

### Eco properties, recycling and disposal

Recycle	✓
Downcycle	✓
Biodegrade	✗
Combust for energy recovery	✗
Landfill	✓
A renewable resource?	✗

E' possibile notare come i valori evidenziati in rosso in tabella siano tutti maggiori di quelli dell'acciaio S 235 JR indicati dal decreto ministeriale (cfr. pag. 15 ).

## 5. IL MATERIALE CON CUI VENGONO REALIZZATI I GUARD RAIL IN ITALIA: L'ACCIAIO COR-TEN

Le aziende italiane utilizzano principalmente acciaio Cor-ten per la realizzazione di guard rail. Per ottenere una buona qualità superficiale, tali aziende devono però effettuare un trattamento di zincatura a caldo che garantisca una buona durabilità del prodotto.

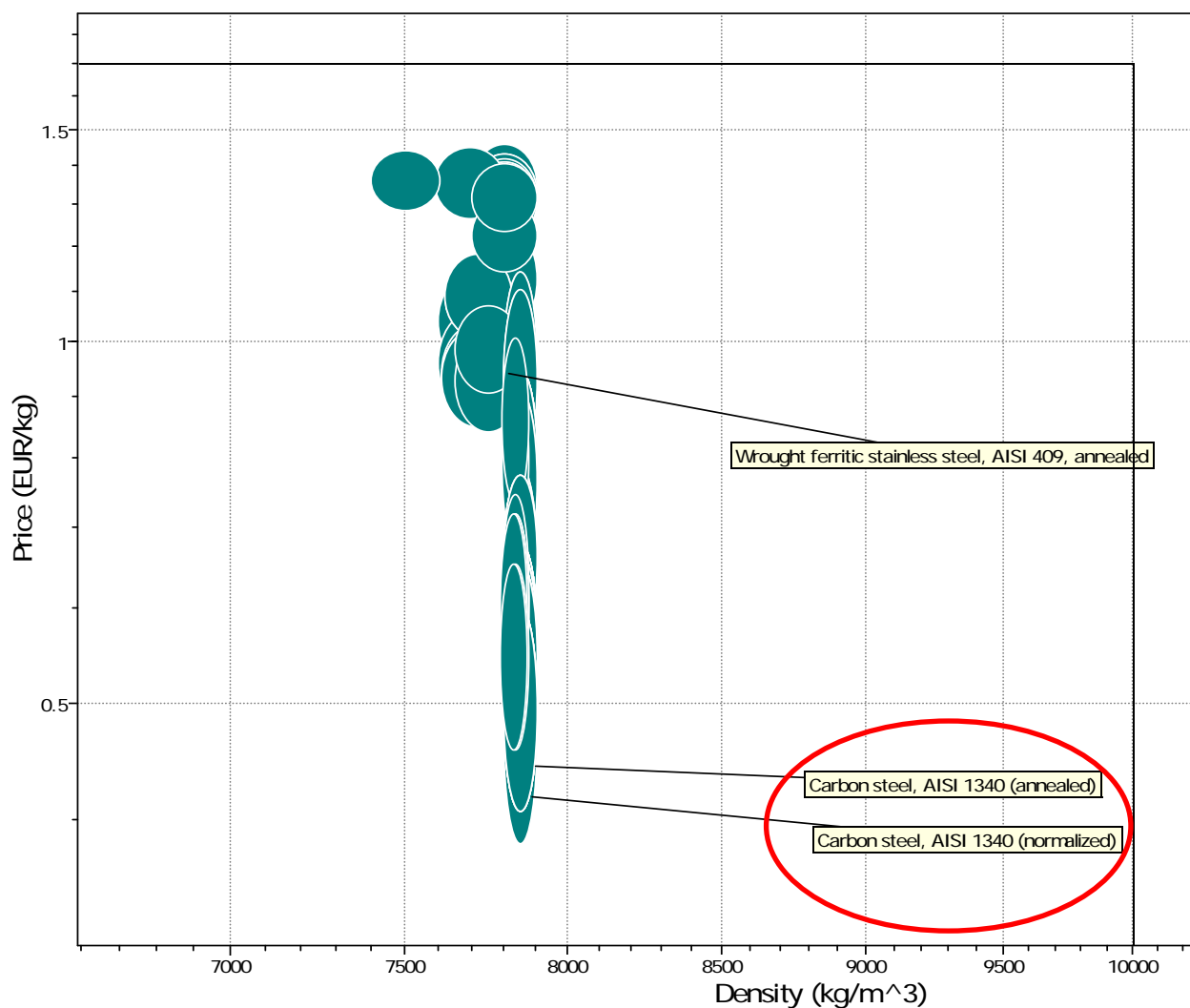
Quindi, non utilizzano un acciaio inossidabile (materiale usato sia in Germania che in Inghilterra per la realizzazione dei guard rail), perché favoriscono un risparmio di costo circa la materia prima, tollerando una qualità superficiale inferiore.

In fase di discussione dell'elaborato è stato sollevato il problema circa l'esclusione dell'acciaio Cor-ten.

Per questo motivo si è inserito nel software la possibilità di effettuare un trattamento superficiale di zincatura (electro-plating)<sup>3</sup> e, contemporaneamente, si sono eliminati tutti i vincoli inerenti la resistenza alla corrosione (cfr. pag. 25). Il risultato dopo tale stage è il seguente:

---

<sup>3</sup> Per ottenere un ottimo processo di zincatura si è trovato che è bene limitare la presenza di alcuni elementi quali il fosforo (<0.04 %), silicio (<0.2 %). Anche questi vincoli sulla composizione chimica sono stati aggiunti.



Sono rimasti 184 materiali, tra i quali sono presenti i carbon steel e i low alloy steel. Come evidenziato in figura i carbon steel hanno il prezzo minore a parità di densità.

Questi risultano essere più economici degli acciai inossidabili ferritici (scelta precedente: AISI 409), ma devono subire necessariamente un trattamento di zincatura per garantire un'ottima durabilità<sup>4</sup>.

<sup>4</sup> Questo requisito è esplicitato in più occasioni nella UNI EN 1317-5.

## 5.1 Il processo produttivo attuale adottato dai principali costruttori italiani

Il processo produttivo attualmente impiegato per la realizzazione delle barriere stradali prevede diversi steps, svolti in sequenza, a partire dai coils di lamiera ottenuti attraverso la laminazione a caldo; essi sono:

1. decapaggio,
2. laminazione a freddo,
3. zincatura a caldo,
4. taglio.

1. Il decapaggio è un'operazione effettuata per eliminare tramite acido (cloridrico o solforico) o altra sostanza chimica, la patina di ossido dai prodotti siderurgici laminati a caldo al fine di ottenere superfici di acciaio puro. A causa delle alterazioni termiche subite dal materiale durante la lavorazione, questo perde parte del cromo che lo rende inattaccabile (inossidabile) esponendo all'ambiente la sua parte più vulnerabile, il ferro, causando la formazione di ruggine.

2. La laminazione a freddo è un processo di lavorazione meccanica atto a fornire al materiale lavorato una migliore resistenza meccanica, in quanto interviene sulla struttura dei grani cristallini, dà una migliore struttura superficiale (poiché il pezzo, contrariamente alla laminazione a caldo, non si ossida) o una forma desiderata. Il processo consiste nel far passare il materiale tra una coppia di rulli tenuti ad una distanza minore dello spessore del materiale in modo tale da costringerlo a ridurre il suo spessore (laminarsi) ottenendo di conseguenza un suo allungamento nel senso di laminazione.

3. La zincatura a caldo consiste nell'immersione in zinco fuso tenuto mediamente alla temperatura di 455 gradi per qualche minuto a seconda del tipo di materiale e dello spessore di rivestimento desiderato; lo zinco, quindi, oltre a ricoprire l'acciaio, entra anche in lega con lo strato superficiale formando uno strato di alcuni micrometri. Il film protettivo che si forma protegge l'acciaio sottostante dagli agenti corrosivi. Se il film viene rovinato o rimosso, questo si riforma perché lo zinco ha un potenziale di riduzione più basso del ferro e quindi ossida prima proteggendo l'acciaio fino al suo esaurimento.

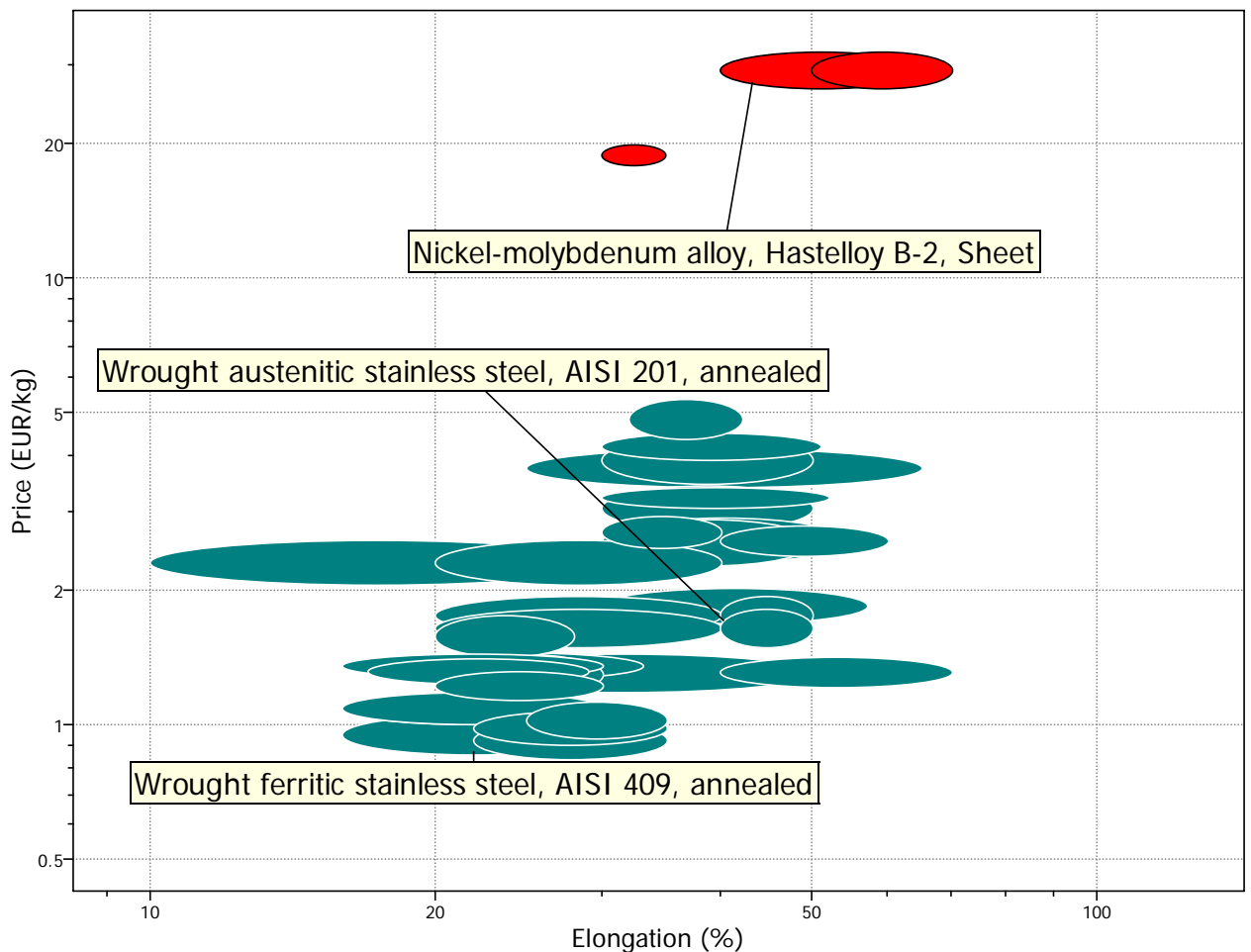
4. Il taglio è l'ultima operazione che viene eseguita per ottenere i nastri ondulati della lunghezza desiderata.

## 6. LA SOLUZIONE SEMPLIFICATA A PARTIRE DAL D.M. 223 DEL 18.02.1992

Un possibile approccio allo svolgimento del progetto è quello di partire dalle proprietà meccaniche dell'acciaio S 235 JR imposte dal decreto ministeriale 223 del 18.02.1992.

I vincoli introdotti nel software sono stati i seguenti:

- $R_p > 235$  MPa,
- $R_m > 360$  MPa,
- $A_n > 26\%$ ,
- $E$  (modulo di Young)  $> 198.000$  MPa,
- processi inclusa la zincatura,
- composizione: P- S max 0,04 % e Si 0%;



E' possibile notare come il risultato coincide con quello precedentemente trovato, anche se vi è una nuova famiglia presente in questa schermata, ovvero gli acciai inossidabili austenitici.

Il materiale scelto è comunque quello con il prezzo inferiore: AISI 409.

## 7. CONCLUSIONI

I principali obiettivi prefissati per lo svolgimento dell'analisi sono:

- massima deformazione plastica,
- massima resistenza a rottura,
- durabilità nel tempo.

Nel rispetto di tali obiettivi si sono svolte due differenti analisi:

- nella prima si sono imposti i vincoli (a volte molto restrittivi) in modo da ottenere un materiale tale da massimizzare la resistenza alla corrosione, e quindi la durabilità (obiettivo principale) senza aver bisogno di eseguire ulteriori processi lavorativi;
- nella seconda, si è preso in considerazione il reale processo di lavorazione del guard rail, il quale prevede di eseguire la zincatura; in questo caso non si sono imposti vincoli sulla resistenza alla corrosione (fatta eccezione per l'infiammabilità).

I risultati ottenuti in entrambe le analisi, non sono poi così differenti; il criterio di scelta, quindi, per la decisione finale è quello di minimizzazione del prezzo.

In entrambi i casi si può notare la presenza della famiglia degli acciai inossidabili ferritici, in particolare AISI 409, ottimo se si considera la prima analisi, meno conveniente se la scelta viene fatta sulla seconda analisi.

Per cui la scelta ottimale deve essere fatta sulla base di trade-off:

- costo del materiale (variabile nel tempo),
- costo del processo di lavorazione,
- qualità superficiale,
- durabilità nel tempo.

Questo significa che si dovrà svolgere un'analisi dei costi, in fase di progettazione, per determinare se è più conveniente realizzare il guard rail con un materiale che possiede delle caratteristiche proprie di resistenza alla corrosione, oppure utilizzare un materiale su cui è necessario effettuare un trattamento superficiale.



## BIBLIOGRAFIA

[1] G.M. Paolucci " Appunti dalle lezioni di metallurgia " Vol 3, Ed. Libreria Progetto Padova.

[2]UNI EN 1317 parte 1, 2, 3, 5.

**Principali siti internet consultati (al 14 Marzo 2008):**

[www.matweb.com](http://www.matweb.com)

[www.marcegaglia.com](http://www.marcegaglia.com)

[www.imeva.it](http://www.imeva.it)

[www.fracasso.it](http://www.fracasso.it)

[www.tubosider.it](http://www.tubosider.it)

[www.carsrl.com](http://www.carsrl.com)

[www.sctitalia.com](http://www.sctitalia.com)

[www.tuv.com](http://www.tuv.com)