

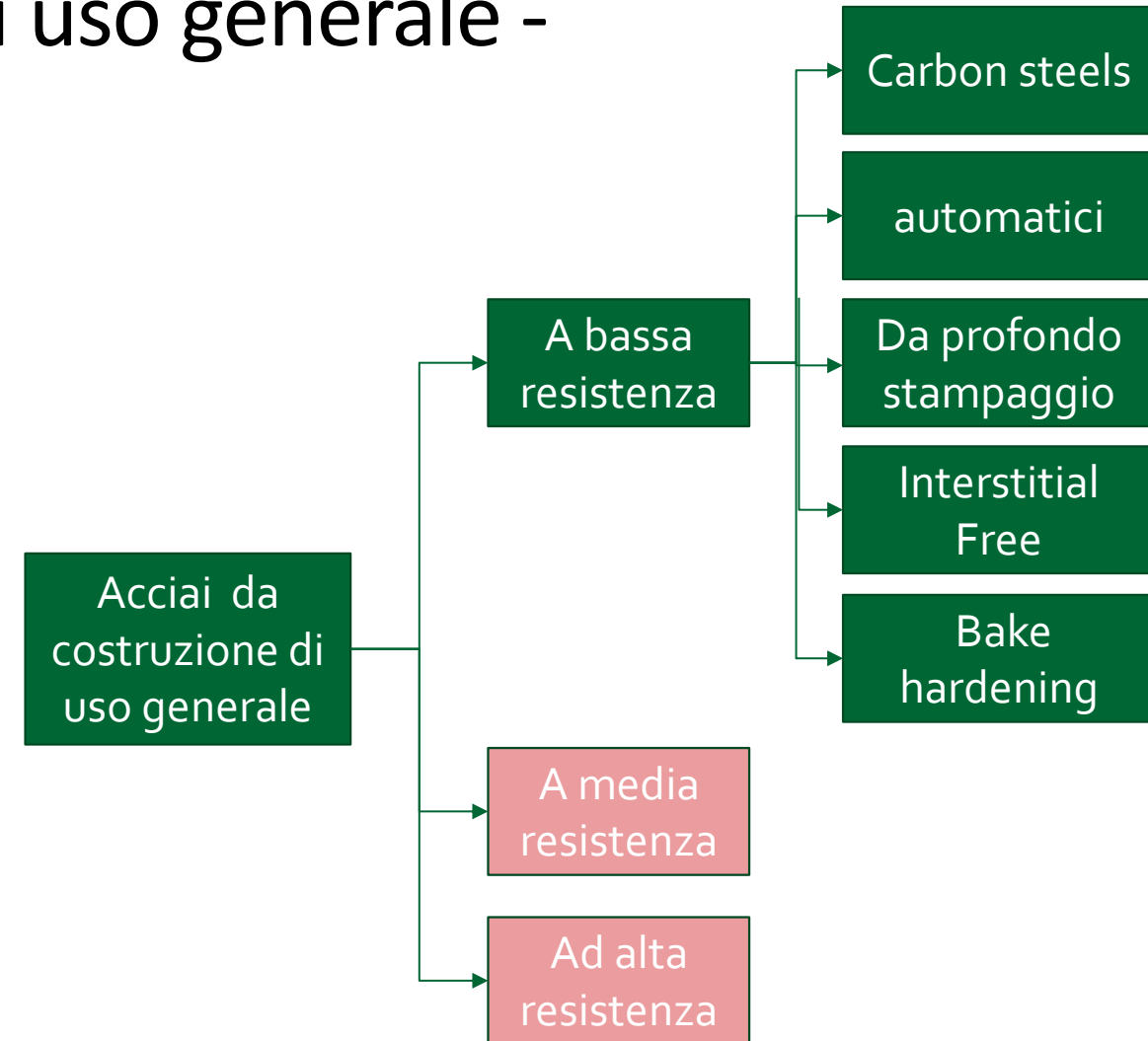
Leghe Ferrose

- Acciai
 - Acciai da costruzione di uso generale
 - A bassa resistenza
 - A media resistenza
 - Ad alta resistenza

Luigi TRICARICO

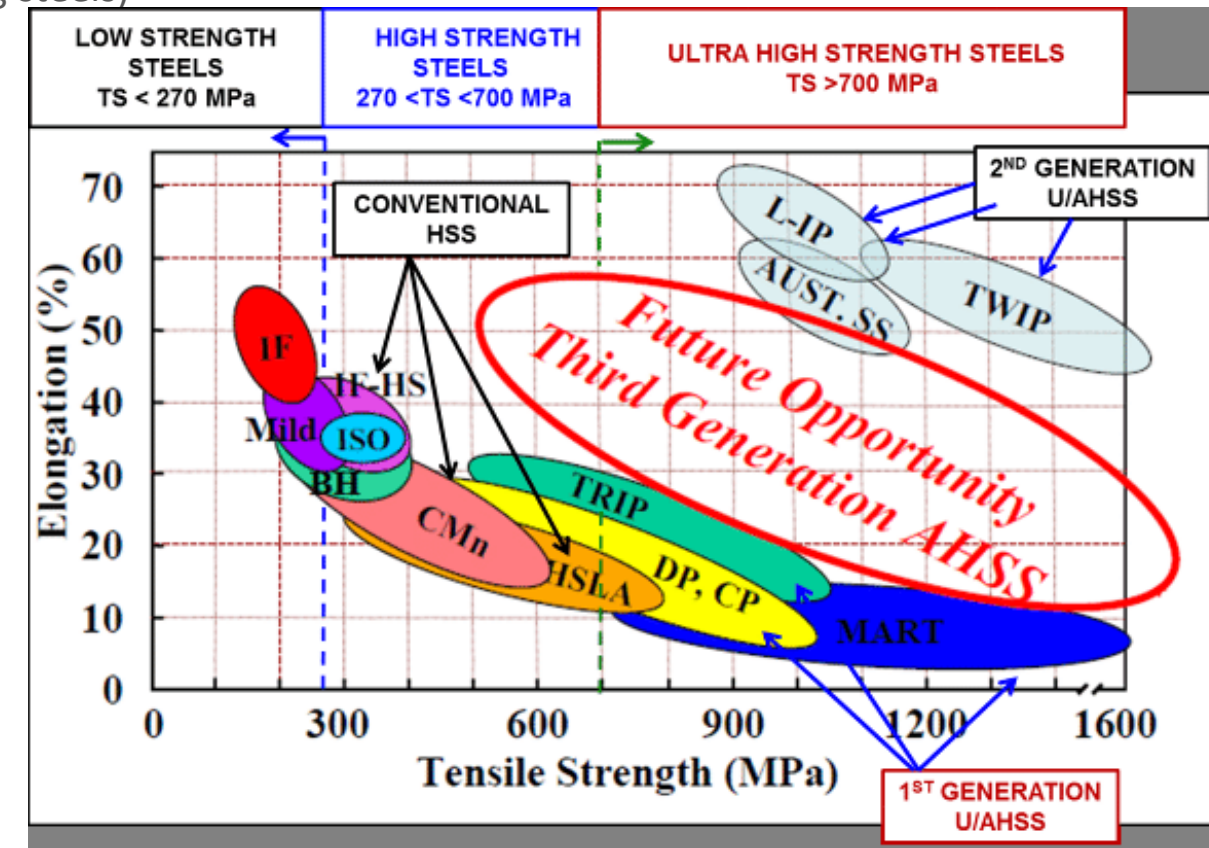
Acciai speciali da costruzione di uso generale - Generalità

- ✓ Rappresentano il 75-80% in peso della totalità degli acciai utilizzati
- ✓ Sono leghe ipoeutettoidiche con un tenore di carbonio nominalmente inferiore allo 0.2% (noti per questo come acciai dolci al carbonio)
- ✓ Silicio (0.2-0.4%) e manganese (0.3-0.7%) poiché usati come disossidanti del bagno liquido. Tenuti sotto controllo il rame (<0.6), dal rottame, e zolfo e fosforo ($<0.05\%$) dal minerale. Intenzionalmente Mn può essere portato sino al 2.5%
- ✓ Sono usati in esercizio sono usati in esercizio per realizzare varie tipologie di componenti o elementi strutturali, con operazioni di piegatura, tranciatura, stampaggio, saldatura
- ✓ Possono essere rivestiti superficialmente (zincati, cromati, fosfatati), o preverniciati



Acciai speciali da costruzione di uso generale - Generalità

- ✓ Classificazione in base delle proprietà meccaniche. Si distinguono:
 - Acciai a bassa resistenza ($UTS \leq 270 \text{ MPa}$)
 - Al solo carbonio per impieghi strutturali o ingegneristici (carbon steels)
 - Per lavorazioni ad alta velocità (Free Machining steels), noti anche come automatici
 - Al solo carbonio da profondo stampaggio (Deep drawing steels)
 - IF (Interstitial Free steels)
 - BH (Bake Hardening steels)
 - Acciai a media resistenza ($270 \text{ MPa} \leq UTS \leq 700 \text{ MPa}$)
 - Al carbonio – manganese per impieghi strutturali o ingegneristici (C-Mn steels)
 - Resistenti alla corrosione atmosferica (Weathering steels)
 - Ad alto limite di snervamento debolmente legati HSLA (High Strength Low Alloy steel)
 - Acciai ad alta resistenza ($UTS \geq 700 \text{ MPa}$)
 - DP (Dual Phase steels)
 - TRIP (Transformation Induced Plasticity steels)
 - CP (Complex Phase steels)
 - MART (Martensitic steels)



- Classificazione in base alla data di generazione, convenzionali e di 1st, 2nd e 3rd) generazione

Acciai da costruzione a bassa resistenza (1/9)

- ✓ Sono leghe ipoeutettoidiche Fe-C o Fe-C-Mn con tenore di carbonio inferiore allo 0.2%, mentre la percentuale di manganese non supera 1.5%
- ✓ Microstruttura quasi completamente ferritica (piccole tracce di perlite lungo la direzione di deformazione plastica a caldo)
- ✓ $YS \leq 150-300 \text{ MPa}$, $UTS \leq 270-500 \text{ MPa}$, $A\% \approx 25-40\%$, ottima saldabilità ($c_{EV} \leq 0.40$)

$$C_{EV} = \%C + \frac{\%M_n}{6} + \frac{\%C_r + \%M_o + \%V}{5} + \frac{\%N_i + \%C_u}{15}$$

$c_{EV} \leq 0.40$ Ottima saldabilità

$0.40 \leq c_{EV} \leq 0.60$. Saldabile con preriscaldamento

$c_{EV} \geq 0.60$. Non saldabile o saldabili con preriscaldamento o post-riscaldamento

○ Cenni storici

- Durante quasi un secolo, sino al 1975, gli acciai da costruzione di uso generale non hanno subito grandi cambiamenti. Elementi strutturali e funzionali erano realizzati in acciai dolci che dovevano essere il più duttili possibile per garantire la formabilità, la tranciatura, la piegatura, ecc., compresa la capacità di essere saldati, verniciati, e così via. La resistenza a trazione di questi acciai era limitata a 180-200 MPa, la resistenza a trazione di conseguenza a 330-350 MPa
- È stato nel 1975, in seguito all'esplosione della crisi petrolifera mondiale, che l'industria dei trasporti ed in particolare quella automobilistica ha richiesto acciai più resistenti per ridurre lo spessore delle parti e quindi il loro peso, in modo da diminuire il consumo di carburante
- È stato proprio in quel momento che sono stati sviluppati i primi acciai al limite degli acciai a bassa resistenza, con YS superiore a 280-300 MPa e TS di circa 450 MPa



Acciai da costruzione a bassa resistenza (2/8)

- ✓ Acciai al solo carbonio per impieghi strutturali (Carbon steels)
 - Semilavorati laminati a caldo o coils, per applicazioni strutturali o ingegneristiche per cui non sia richiesta elevata resistenza meccanica (profilati per carpenteria meccanica e costruzioni civili, tubi saldati, lamiere, componenti strutturali zincati, arredi urbani, cisterne, bombole saldate)

3-150mm

0.2-3mm

| Designazione | Normativa | %C | %Si | %Mn | %P | %S | %N | %Cu | %Al _{tot} |
|--------------|-----------|--------|--------|-----------|---------|---------|---------|--------|--------------------|
| S235J0 | EN 10025 | ≤ 0,17 | --- | ≤ 1,40 | ≤ 0,030 | ≤ 0,030 | ≤ 0,012 | ≤ 0,55 | (*) |
| S275J2 | EN 10025 | ≤ 0,18 | --- | ≤ 1,50 | ≤ 0,025 | ≤ 0,025 | --- | ≤ 0,55 | (**) |
| P235S | EN 10207 | ≤ 0,16 | ≤ 0,35 | 0,40-1,20 | ≤ 0,025 | ≤ 0,025 | ≤ 0,010 | n.s. | ≤ 0,020 |
| E195+N | EN 10296 | ≤ 0,15 | ≤ 0,35 | ≤ 0,70 | ≤ 0,045 | ≤ 0,045 | n.s. | n.s. | n.s. |
| S220GD+ZF | EN 10346 | ≤ 0,20 | ≤ 0,60 | ≤ 1,70 | ≤ 0,10 | ≤ 0,045 | n.s. | n.s. | n.s. |

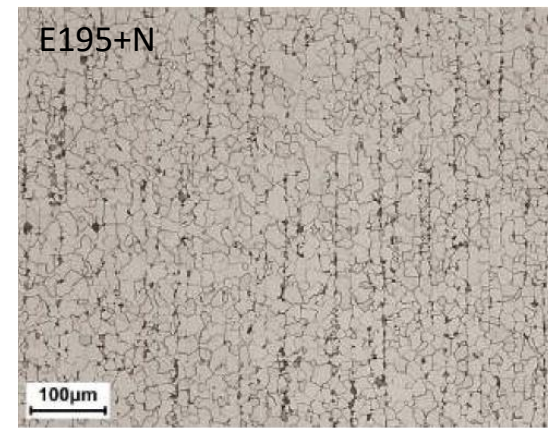
S: applicazioni strutturali, YS, J: Resilienza minima (0: 27J a 0 degC, 1: 27J a -20 degC)

P: Cisterne e sistemi in pressione, YS, S: costruzioni navali

E: Tubi saldati per applicazioni ingegneristiche, YS, +N: normalizzato)

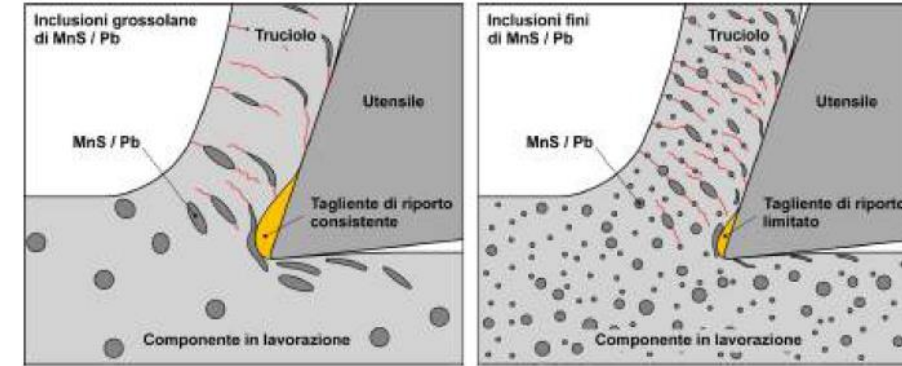
S: Applicazione strutturale, YS, GD+ZF: zincatura a caldo in bagno di zinco-ferro

| Designazione | Normativa | Carico unitario di snervamento, R _{p0.2} [MPa] | Carico unitario di rottura, R _m [MPa] | Allungamento a rottura, A% | Posizione prelievo saggi |
|-----------------|------------|---|--|----------------------------|--------------------------|
| S235J0 (*) | EN 10025-2 | ≥ 235 | 360-510 | ≥ 26 | longitudinale |
| S275J2 (*) | EN 10025-2 | ≥ 275 | 410-560 | ≥ 23 | longitudinale |
| P235S (*) | EN 10207 | ≥ 235 | 360-480 | ≥ 26 | longitudinale |
| E195+N (**) | EN 10296-1 | ≥ 195 | ≥ 300 | ≥ 28 | longitudinale |
| S220GD+ZF (***) | EN 10346 | ≥ 220 | ≥ 300 | ≥ 20 (°) | longitudinale |

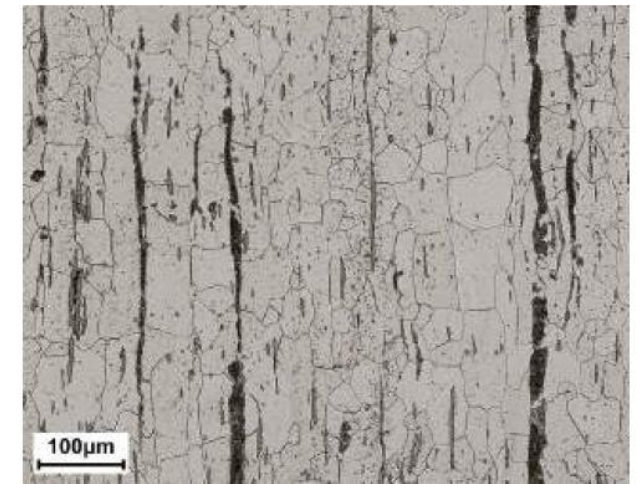


Acciai da costruzione a bassa resistenza (3/8)

- ✓ Acciai automatici (Free Machining Steels)
 - Per lavorazioni per asportazione di truciolo ad alta velocità (>30 m/min)
 - Il truciolo deve segmentarsi facilmente e la formazione del tagliente di riporto deve essere limitata
 - Consente di ridurre usura, scheggiature, microfessurazioni termiche
 - Azione autolubrificante
 - Sono contraddistinti dalla presenza di zolfo (0.3-0.4%) e piombo, aggiunti per migliorare la truciolabilità
 - Inclusioni di piccola dimensione di solfuro di manganese (Mn di 1-1.5% e di piombo (0.2-0.3%) che è insolubile
 - Favoriscono la rottura del truciolo e hanno azione lubrificante sull'interfaccia utensile/pezzo
 - La designazione è basata sulla composizione chimica
 - Viti, dadi, raccorderia e minuteria metallica e componenti non saldati con intense lavorazioni per asportazione di truciolo



Effetto della dimensione delle inclusioni nella frammentazione del truciolo. Le line rosse indicano i possibili piani di frattura



Struttura ferritico-perlitica a bande e inclusioni di MnS e Pb lungo la direzione di laminazione nel EN 11SMnPb30

| Designazione | Normativa | %C | %Si | %Mn | %P | %S | %Pb |
|--------------|--------------|--------|------------|-----------|--------|-----------|-----------|
| 11SMn30 | EN ISO 683-4 | ≤ 0,14 | ≤ 0,05 (*) | 0,90-1,30 | ≤ 0,11 | 0,27-0,33 | --- |
| 11SMnPb30 | | | | | | | 0,20-0,35 |

| Designazione | Normativa | Carico unitario di snervamento, $R_{p0.2}$ [MPa] | Carico unitario di rottura, R_m [MPa] | Durezza Brinell, [HB] | Posizione prelievo saggi |
|---------------|--------------|--|---|-----------------------|--------------------------|
| 11SMn30 (*) | EN ISO 683-4 | non indicato | 380-570 | ≤ 169 | longitudinale |
| 11SMnPb30 (*) | | | | | |



**Dipartimento
Meccanica
Matematica
Management**

TECNOLOGIA MECCANICA II – PARTE II
Luigi TRICARICO

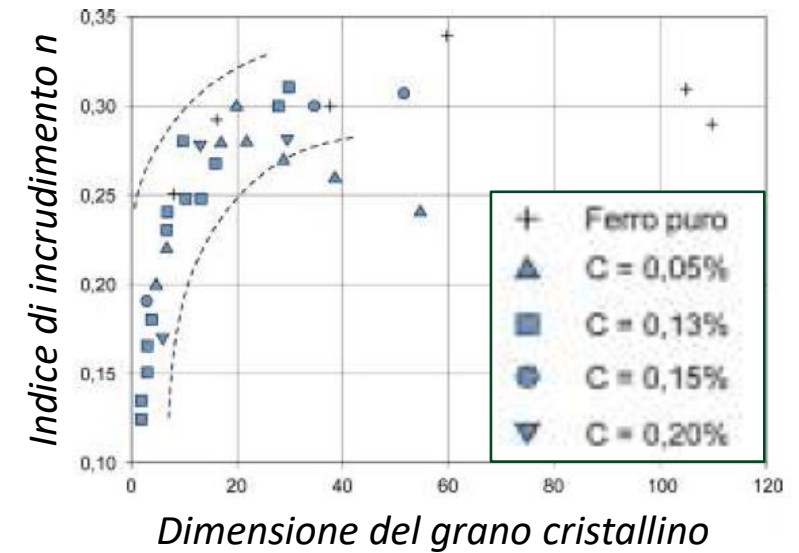
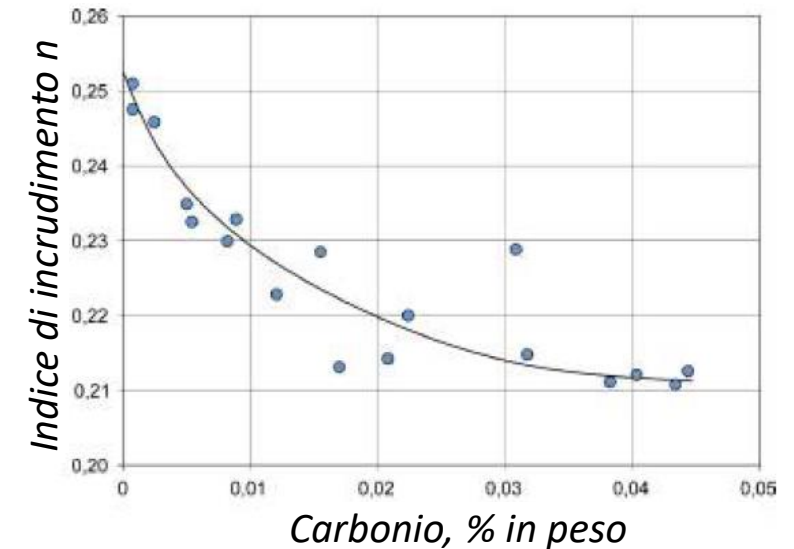
MUR
Dipartimento
di Eccellenza
2018-2022
2023-2027

Acciai da costruzione a bassa resistenza (4/8)

- ✓ Acciai da profondo stampaggio o per formatura a freddo
 - Volumi e quote di mercato più intensi rispetto ad acciai dolci al carbonio e automatici
 - È di interesse [per il settore automotive (telai, ruote, carrozzeria) del packaging (imballaggi alimentari e degli elettrodomestici)
 - Lamiere sottili e nastri per la formatura a freddo, lo stampaggio, l'imbutitura e la tranciatura allo stato tal quale o dopo rivestimento metallico (zincatura, stagnatura, cromatura. Eccellente saldabilità
 - Nastri e lamiere sono normalmente finiti a freddo (tolleranze e rugosità richieste) e sottoposti a ricottura di ricristallizzazione del progettare le caratteristiche di duttilità richieste
 - Le proprietà di deformazioni plastica sono caratterizzate
 1. dal coefficiente di incrudimento (n) della relazione di Hollomon

$$\sigma_r = K \cdot \epsilon_r^n \quad \sigma_r = \sigma \cdot (1 + \epsilon) \quad \sigma = \frac{P}{A_0} \quad \epsilon = \frac{\Delta l}{l_0}$$
$$\epsilon_r = \ln \cdot (1 + \epsilon)$$

- Alti valori di n rappresentativi di elevata formabilità per stiramento (stretching), e di una duttilità omogenea e uniformi (sposta la strizione più elevati valori di deformazione).
- Il coefficiente di incrudimento aumenta
 - Con il diminuire degli elementi presenti in soluzione solida interstiziale (C, N) e del tenore di Mn
 - Con l'aumento della dimensione del grano, sino ad un valore limite
 - Con l'aumento della distanza tra eventuali precipitati



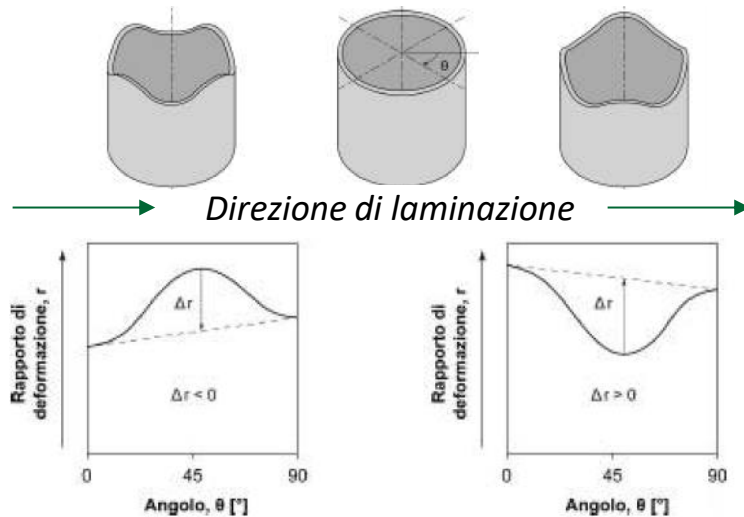
Acciai da costruzione a bassa resistenza (5/8)

2. Il rapporto tra deformazione trasversale e longitudinale (r), noto come anisotropia.

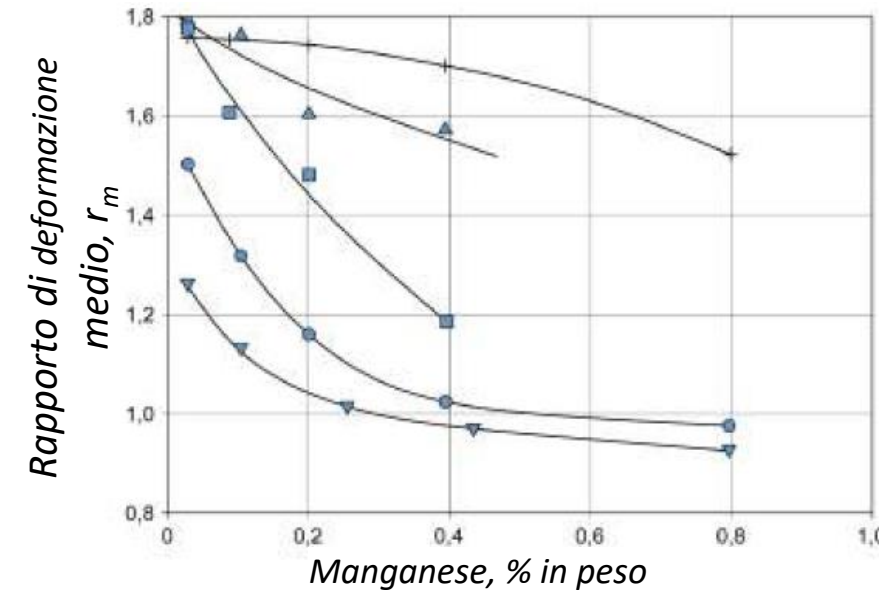
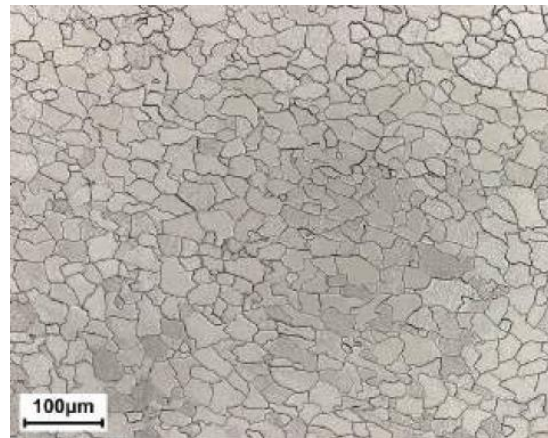
- Il comportamento plastico è determinato dall'anisotropia normale (r_m) e planare (Δr)

$$r_m = \frac{r_0 + r_{90} + 2 \cdot r_{45}}{4} \quad \Delta r = \frac{r_0 + r_{90} - 2 \cdot r_{45}}{2}$$

- Elevati valori di anisotropia normale (riduzione Mn, C, N), garantiscono ottima deformabilità e imbutibilità (contrastano l'assottigliamento e dunque ritardano la frattura per strizione)
- Valori di Δr prossimi a zero consentono di avere deformabilità omogenea lungo tutte le direzioni (materiale isotropo) senza formazione di orecchie



EN DD14. Struttura completamente ricristallizzata



| Designazione | Normativa | %C | %Si | %Mn | %P | %S | %Al _{tot} | %Ti |
|--------------|-----------|-----------|---------|---------|---------|---------|--------------------|--------|
| DD14 | EN 10111 | ≤ 0,08 | n.s. | ≤ 0,35 | ≤ 0,025 | ≤ 0,025 | (*) | n.s. |
| DC05 | EN 10130 | ≤ 0,06 | n.s. | ≤ 0,35 | ≤ 0,025 | ≤ 0,025 | (*) | n.s. |
| DX54D+Z | EN 10346 | ≤ 0,12 | ≤ 0,50 | ≤ 0,60 | ≤ 0,10 | ≤ 0,045 | (*) | ≤ 0,30 |
| TS260 (**) | EN 10202 | 0,04-0,08 | ≤ 0,030 | ≤ 0,025 | ≤ 0,020 | ≤ 0,020 | 0,02-0,08 | n.s. |

| Designazione | Normativa | Carico unitario di snervamento, R _{p0.2} [MPa] | Carico unitario di rottura, R _m [MPa] | Allungamento a rottura, A% | Indice r ₉₀ | Indice n ₉₀ | Posizione prelievo saggi |
|---------------|-----------|---|--|----------------------------|------------------------|------------------------|--------------------------|
| DD14 (*) | EN 10111 | 170-310 | ≤ 380 | ≥ 36 | --- | --- | trasversale |
| DC05 (**) | EN 10130 | ≤ 180 | 270-330 | ≥ 40 (*) | ≥ 1,9 | ≥ 0,20 | trasversale |
| DX54D+Z (***) | EN 10346 | 120-220 | 260-350 | ≥ 36 (*) | ≥ 1,6 | ≥ 0,18 | trasversale |
| TS260 | EN 10202 | 260±50 | 360±50 | --- | --- | --- | n.s. |

D: Indicato per formatura a freddo, D: Ottenuto da laminazione a caldo (1-12 mm), valore di qualità
D: Indicato per formatura a freddo, C: Ottenuto da laminazione a freddo (0.35-3 mm), valore di qualità
D: Indicato per formatura a freddo, X: laminazione non indicata, Valore qualità, D+Z: zincato a caldo
T: Banda stagnata, S: ricottura in forno non continuo, YS



**Dipartimento
Meccanica
Matematica
Management**

MUR
Dipartimento
di Eccellenza
2018-2022
2023-2027

TECNOLOGIA MECCANICA II – PARTE II
Luigi TRICARICO

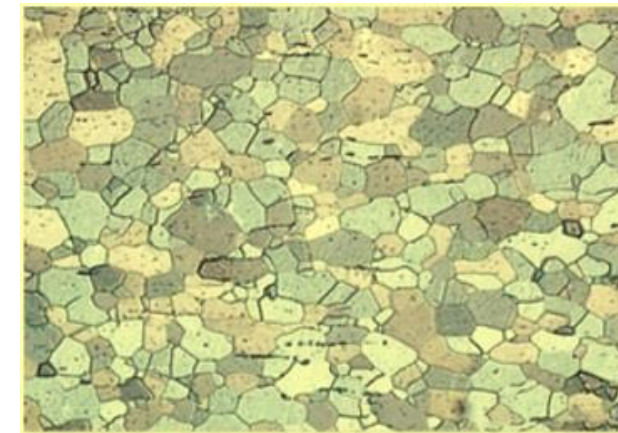
Acciai da costruzione a bassa resistenza (6/8)

- ✓ Acciai IF (Interstitial Free), ovvero acciaio senza interstiziali
 - Non ci sono atomi di soluto interstiziali (C, N) nel reticolo CCC della ferrite, con conseguente incremento della deformabilità
 - Indicati per formatura a freddo di parti complesse (sviluppati ne 80' per realizzare pannelli nel settore automotive)
 - Prodotti con un tenore estremamente ridotto di C (0.004 - 0.007%) e N
 - Esiste una sotto-famiglia con un tenore di carbonio minore dello 0.003% (Ultra-Low Interstitial Free, UL-IF)
 - Nei IF e UL-IF sono aggiunti elementi stabilizzanti, come Ti e Nb (a volte anche V e B), che hanno un effetto neutralizzante su C e N poiché formano carburi/nitruri
 - Aumento della deformabilità a freddo
 - Gradi con P ($\leq 0.1\%$) e di manganese ($\leq 1\%$) per migliorare la resistenza meccanica
 - Come gli acciai per stampaggio, dopo laminazione a caldo e a freddo subiscono un trattamento di ricottura di ricristallizzazione

| Designazione | Normativa | %C | %Si | %Mn | %P | %S | %Al _{tot} | %Ti | %Nb |
|--------------|-----------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|--------------------|-------------|-------------|
| HC180Y | EN 10268 | $\leq 0,01$ | $\leq 0,30$ | $\leq 0,7$ | $\leq 0,06$ | $\leq 0,025$ | $\geq 0,01$ | $\leq 0,12$ | $\leq 0,09$ |
| HC260Y | | $\leq 0,01$ | $\leq 0,30$ | $\leq 1,6$ | $\leq 0,10$ | $\leq 0,025$ | $\geq 0,01$ | $\leq 0,12$ | $\leq 0,09$ |
| HX180YD | EN 10346 | $\leq 0,01$ | $\leq 0,30$ | $\leq 0,70$ | $\leq 0,06$ | $\leq 0,025$ | $\geq 0,01$ | $\leq 0,12$ | $\leq 0,09$ |
| HX260YD | | $\leq 0,01$ | $\leq 0,30$ | $\leq 1,60$ | $\leq 0,10$ | $\leq 0,025$ | $\geq 0,01$ | $\leq 0,12$ | $\leq 0,09$ |

| Designazione | Normativa | Carico unitario di snervamento, $R_{p0.2}$ [MPa] | Carico unitario di rottura, R_m [MPa] | Allungamento a rottura, A% | Indice r_{90} | Indice n_{90} | Posizione prelievo saggi |
|--------------|-----------|--|---|----------------------------|-----------------|-----------------|--------------------------|
| HC180Y (*) | EN 10268 | 180-230 | 330-400 | ≥ 35 (%) | $\geq 1,7$ | $\geq 0,19$ | trasversale |
| HC260Y (*) | | 260-320 | 380-440 | ≥ 31 (%) | $\geq 1,4$ | $\geq 0,17$ | trasversale |
| HX180YD (**) | EN 10346 | 180-240 | 330-390 | ≥ 34 (%) | $\geq 1,7$ | $\geq 0,18$ | trasversale |
| HX260YD (**) | | 260-320 | 380-440 | ≥ 30 (%) | $\geq 1,4$ | $\geq 0,16$ | trasversale |

H: Ad alta resistenza per formatura a freddo, C: Ottenuto da laminazione a freddo (sino a 3 mm), YS, Y: IF D: Ad alta resistenza per formatura a freddo, X: laminazione non indicata, YS, Y: IF, D: Rivestito a caldo



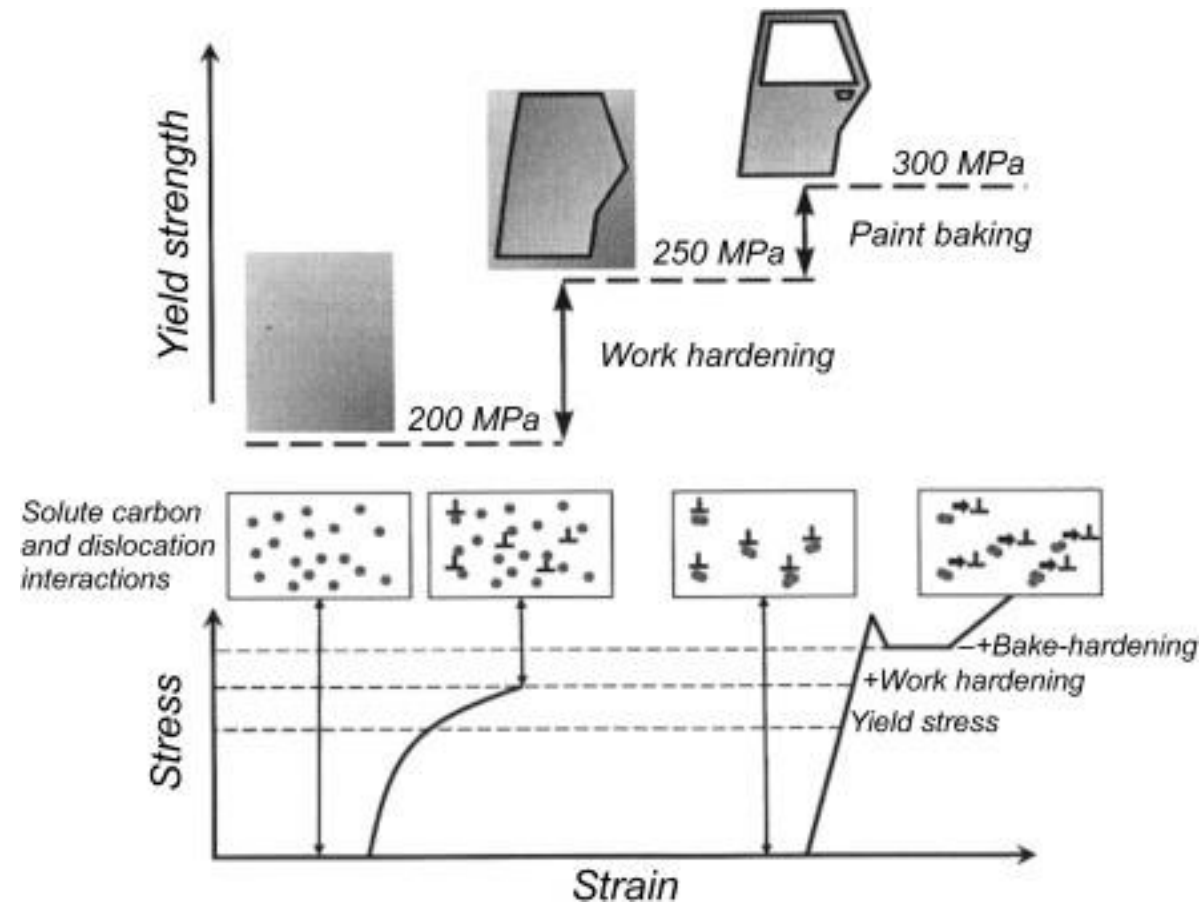
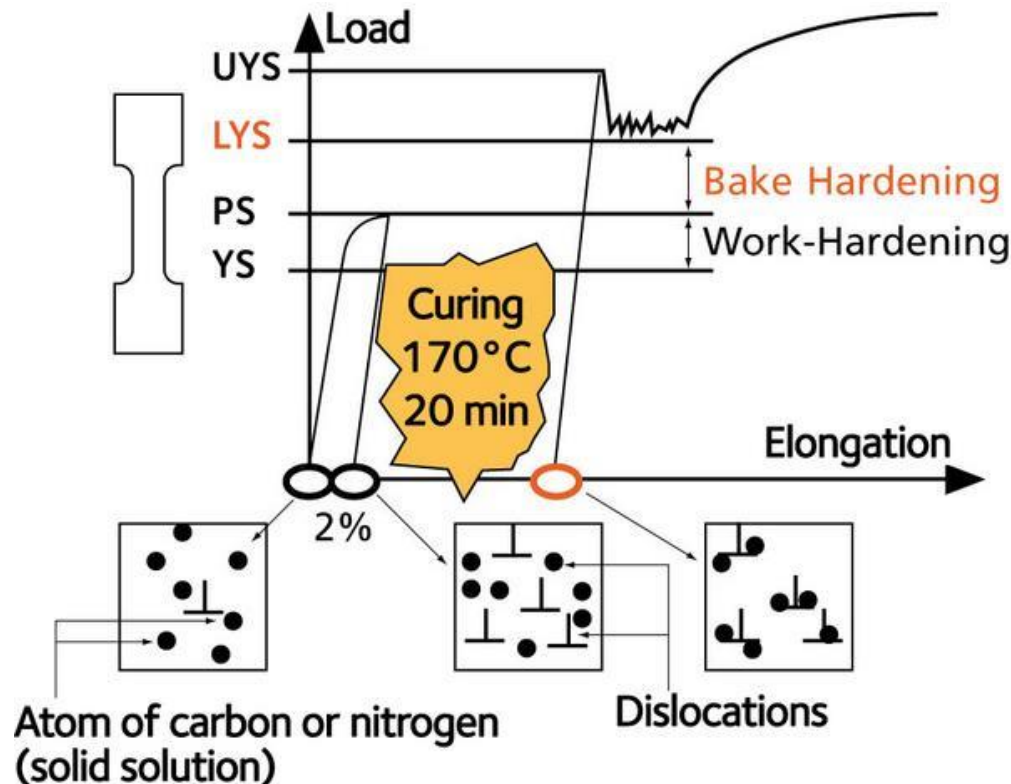
Dipartimento Meccanica Matematica Management

TECNOLOGIA MECCANICA II – PARTE II
Luigi TRICARICO

MUR
Dipartimento di Eccellenza
2018-2022
2023-2027

Acciai da costruzione a bassa resistenza (7/8)

- ✓ Acciai GH (Bake Hardening)
 - Sviluppati alla fine degli anni '80. Simili agli IF
 - La principale differenza è un leggero aumento del tenore di C e N e la presenza di alluminio tale da garantire la possibilità di combinarsi con l'azoto per formare dei composti duri (AlN)
 - Negli IF, C e N o sono assenti o sono sotto forma di carburi/carbonitruri

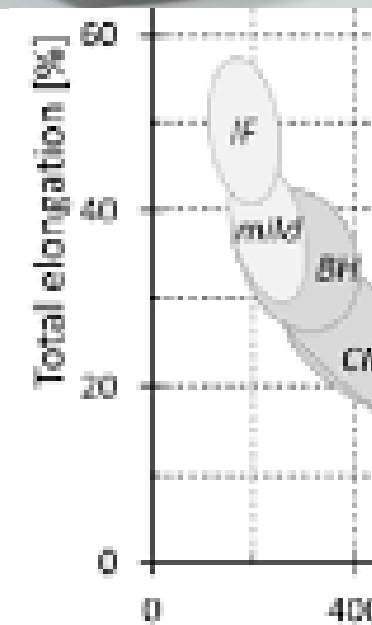


- L'effetto di BH deriva dall'azione congiunta dell'incrudimento per deformazione plastica a freddo e della successiva fase di invecchiamento che si ha durante la verniciatura (mantenimento a 160-180°C per 20-30 min)

Acciai da costruzione a bassa resistenza (8/8)

- Il rafforzamento meccanico dopo verniciatura si ha poiché
 - C e N diffondono verso zone ad elevata densità di dislocazioni (zone incrudite) per la presenza di lacune più ampie rispetto a quelle del reticolo della ferrite
 - Addensamenti di Ce Z (atmosfera di Cottrell) che tendono ad ancorare le dislocazioni ed ad impedirne il movimento
- Hanno il vantaggio di avere un basso carico di snervamento ed una elevata formabilità prima del processo di deformazione plastica a freddo.
- In funzione del livello di incrudimento, dopo verniciatura si osserva un aumento della YS dell'ordine dei 50 MPa

H: Ad alta resistenza per formatura a freddo, C: Ottenuto da laminazione a freddo (sino a 3 mm), YS, B: BH



**Dipartimento
Meccanica
Matematica
Management**

MUR
Dipartimento
di Eccellenza
2018-2022
2023-2027

TECNOLOGIA MECCANICA II – PARTE II
Luigi TRICARICO

| Designazione | Normativa | %C | %Si | %Mn | %P | %S | %Al _{tot} |
|--------------|-----------|--------|-------|-------|---------|---------|--------------------|
| HC180B | EN 10268 | ≤ 0,06 | ≤ 0,5 | ≤ 0,7 | ≤ 0,06 | ≤ 0,030 | ≥ 0,015 |
| HC220B | | ≤ 0,08 | ≤ 0,5 | ≤ 0,7 | ≤ 0,085 | ≤ 0,030 | ≥ 0,015 |
| HC260B | | ≤ 0,1 | ≤ 0,5 | ≤ 1,0 | ≤ 0,1 | ≤ 0,030 | ≥ 0,015 |

| Designazione | Normativa | Carico unitario di snervamento, $R_{p0.2}$ [MPa] | Carico unitario di rottura, R_m [MPa] | Allungamento a rottura, A% | Indice r_{90} | Indice n_{90} | Posizione prelievo saggi |
|--------------|-----------|--|---|----------------------------|-----------------|-----------------|--------------------------|
| HC180B (*) | EN 10268 | 180-230 | 290-360 | ≥ 34 (°) | ≥ 1,6 | ≥ 0,17 | trasversale |
| HC220B (*) | | 220-270 | 320-400 | ≥ 32 (°) | ≥ 1,5 | ≥ 0,16 | trasversale |
| HC260B (*) | | 260-320 | 360-440 | ≥ 29 (°) | --- | --- | trasversale |