



**siderweb**  
LA COMMUNITY DELL'ACCIAIO

# AUTOMOBILE: UN FUTURO D'ACCIAIO?

Tendenze future nello sviluppo del settore automotive. Quale sarà il ruolo dell'acciaio?

**CARLO MAPELLI**

PROFESSORE ORDINARIO IRONMAKING & STEELMAKING - APPLIED METALLURGY  
DIPARTIMENTO DI MECCANICA - POLITECNICO DI MILANO

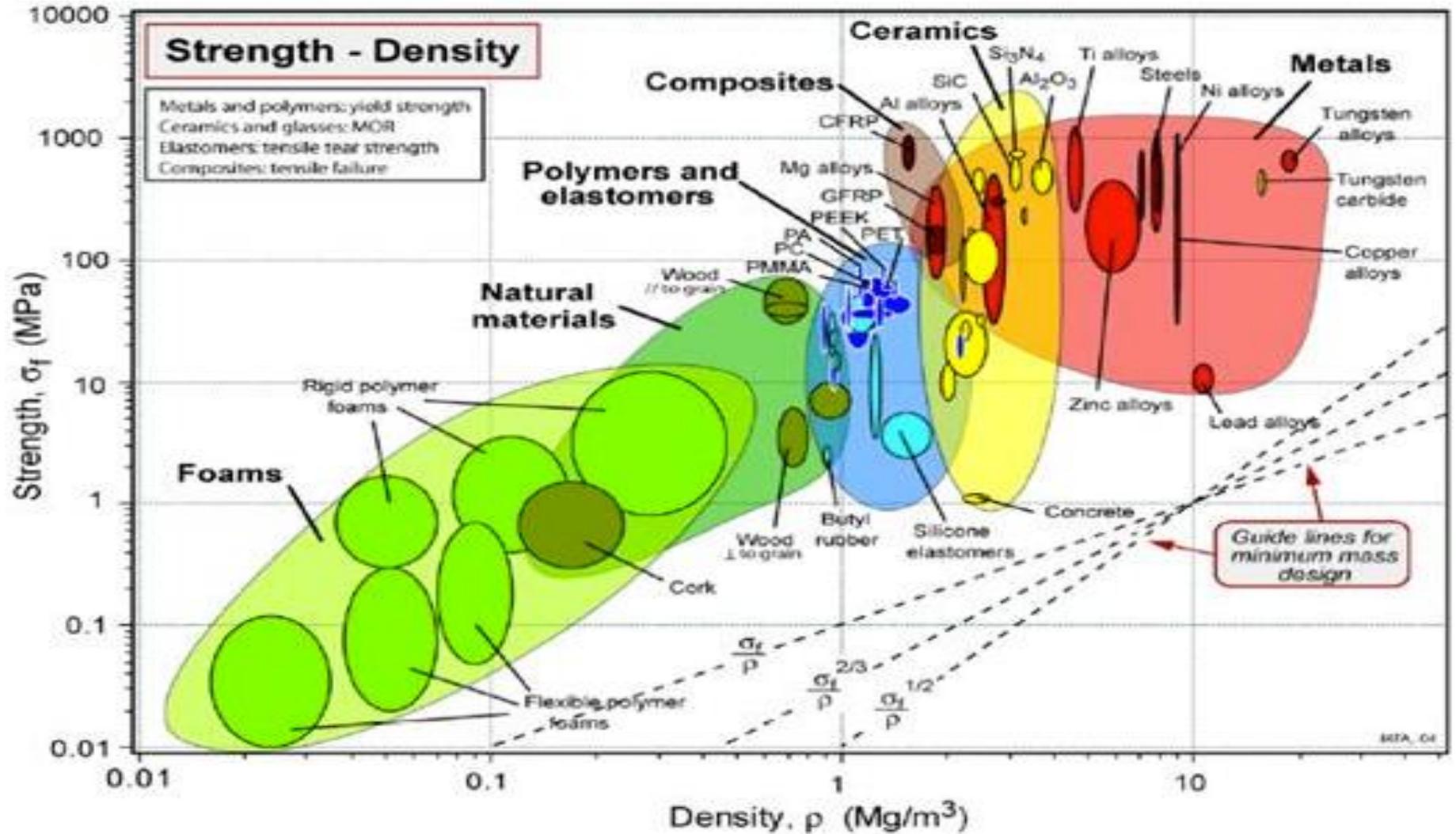
**SVILUPPI DEGLI ACCIAI PER AUTOMOBILI**

LCA (Lyfe Cycle Assessment) o analisi del ciclo di vita.

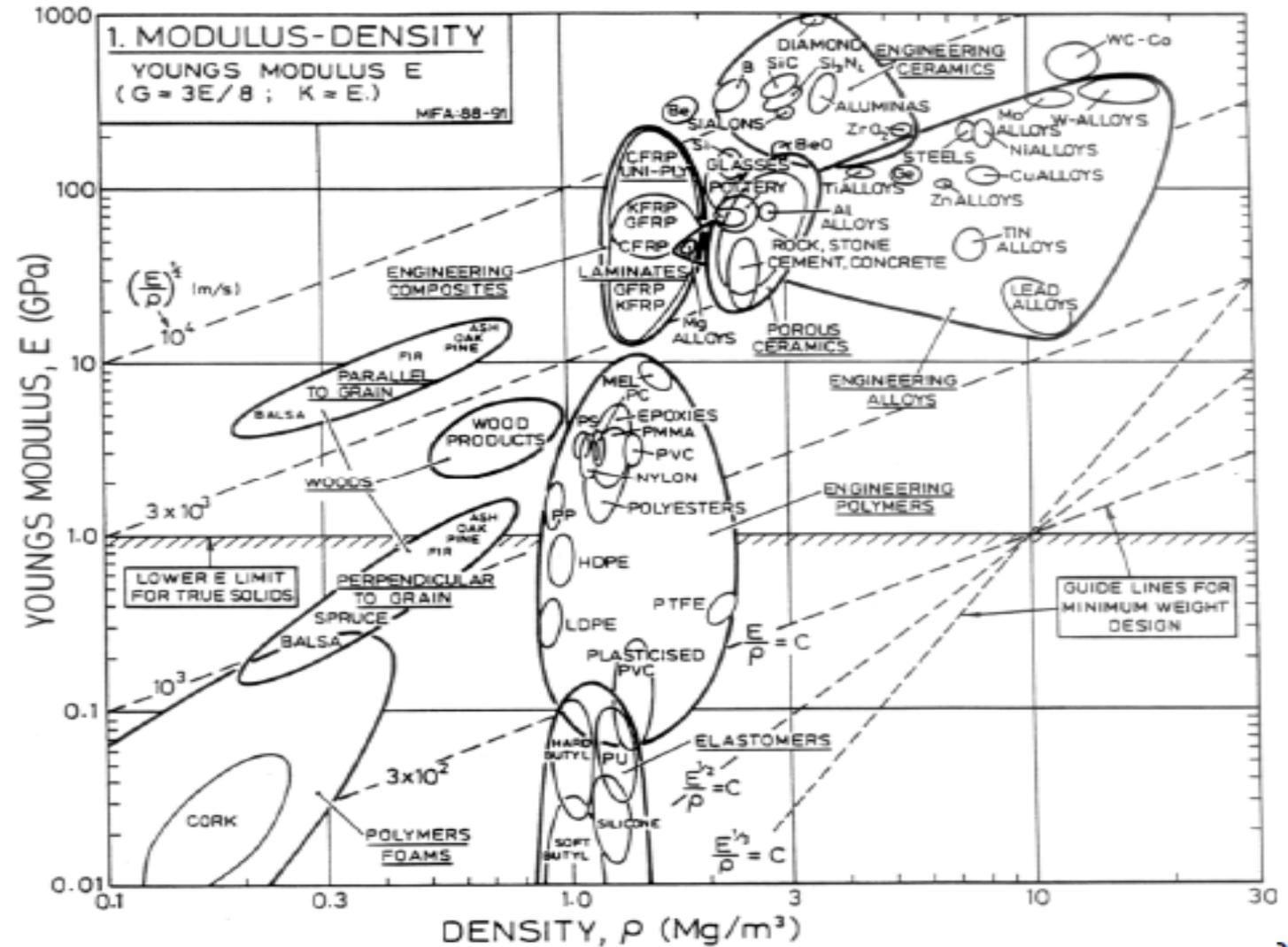
Il ciclo di vita ha il compito di quantificare scientificamente e non emotivamente gli input ed output legati ad un dato prodotto



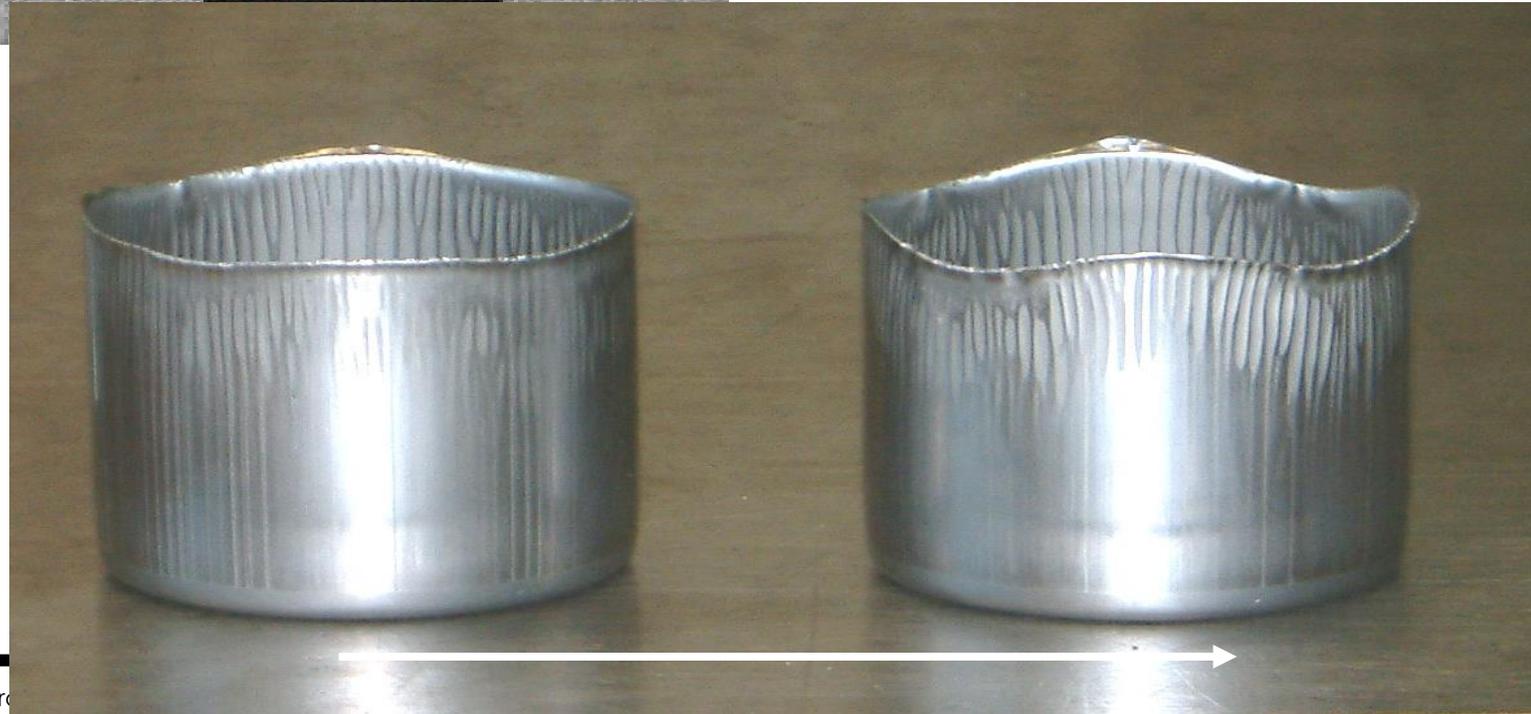
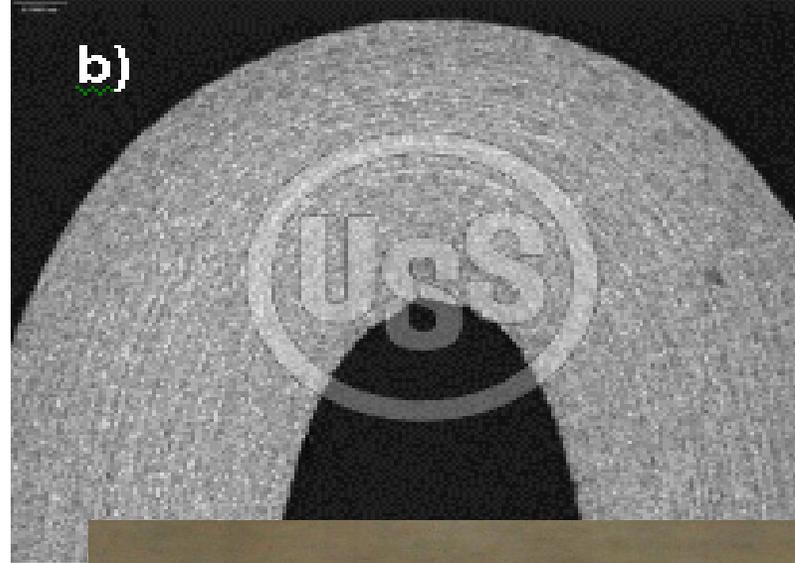
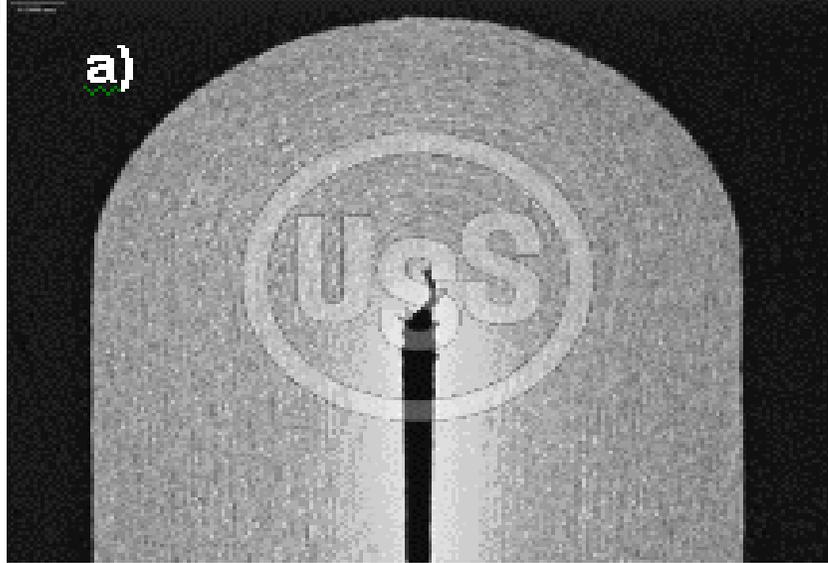
**Perché l'acciaio?**



**Perché l'acciaio?**



**FORMABILITÀ PLASTICA**  
**ALTA RESISTENZA**  
**SALDABILITÀ**  
**RESISTENZA ALLA CORROSIONE**



**1. Classificazione secondo le caratteristiche metallurgiche**

Low Strength	HSS	AHSS
Mild = Mild Steel IF = Interstitial Free	IF-HS HSLA = High Strength, Low Alloy BH = Bake Hardenable CMn = Carbon Manganese	DP = Dual Phase CP = Complex Phase TRIP = Transformation induced plasticity MART = Martensitic HF = Hot Formed PFHT = Post-forming Heat treatable

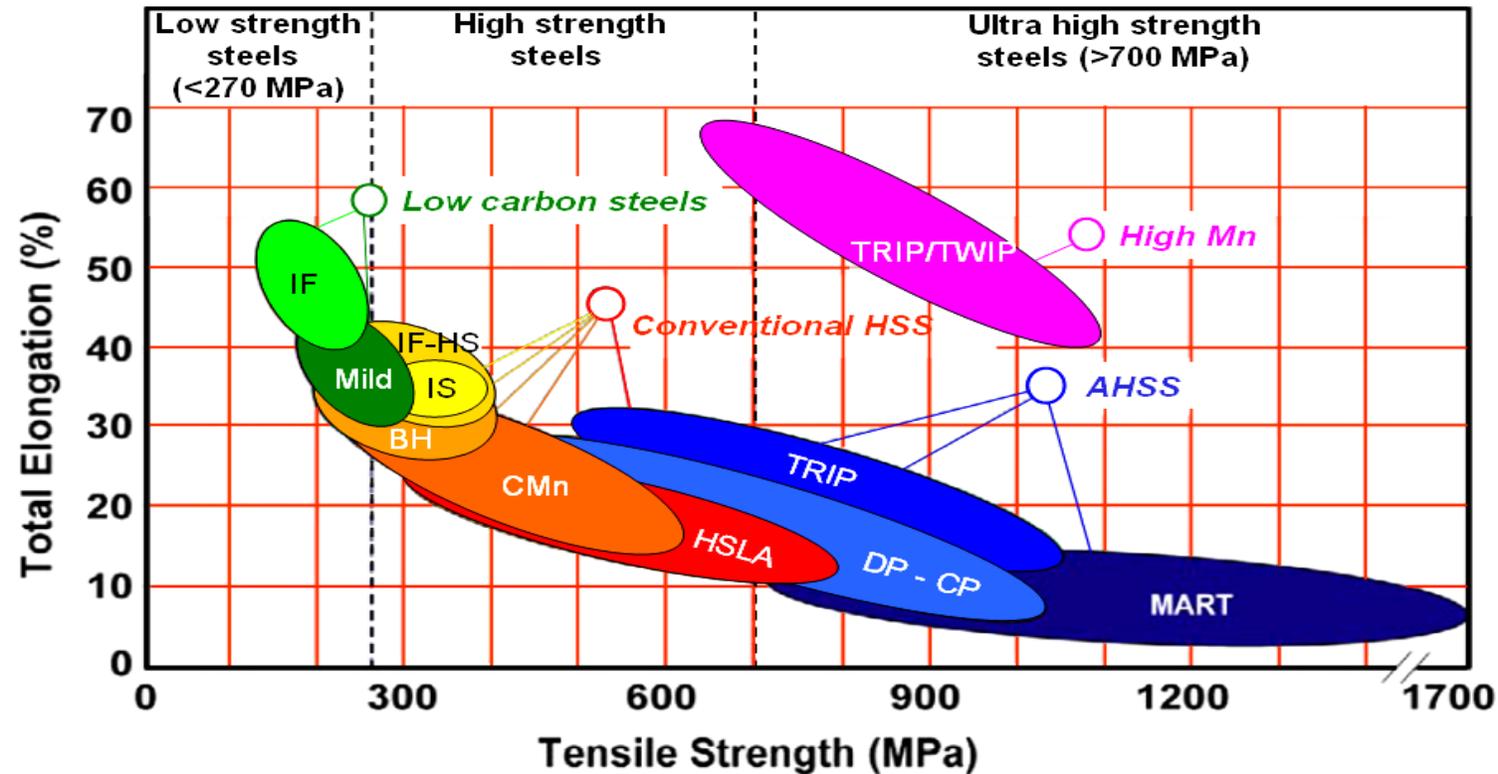
**2. Classificazione secondo le caratteristiche meccaniche:**

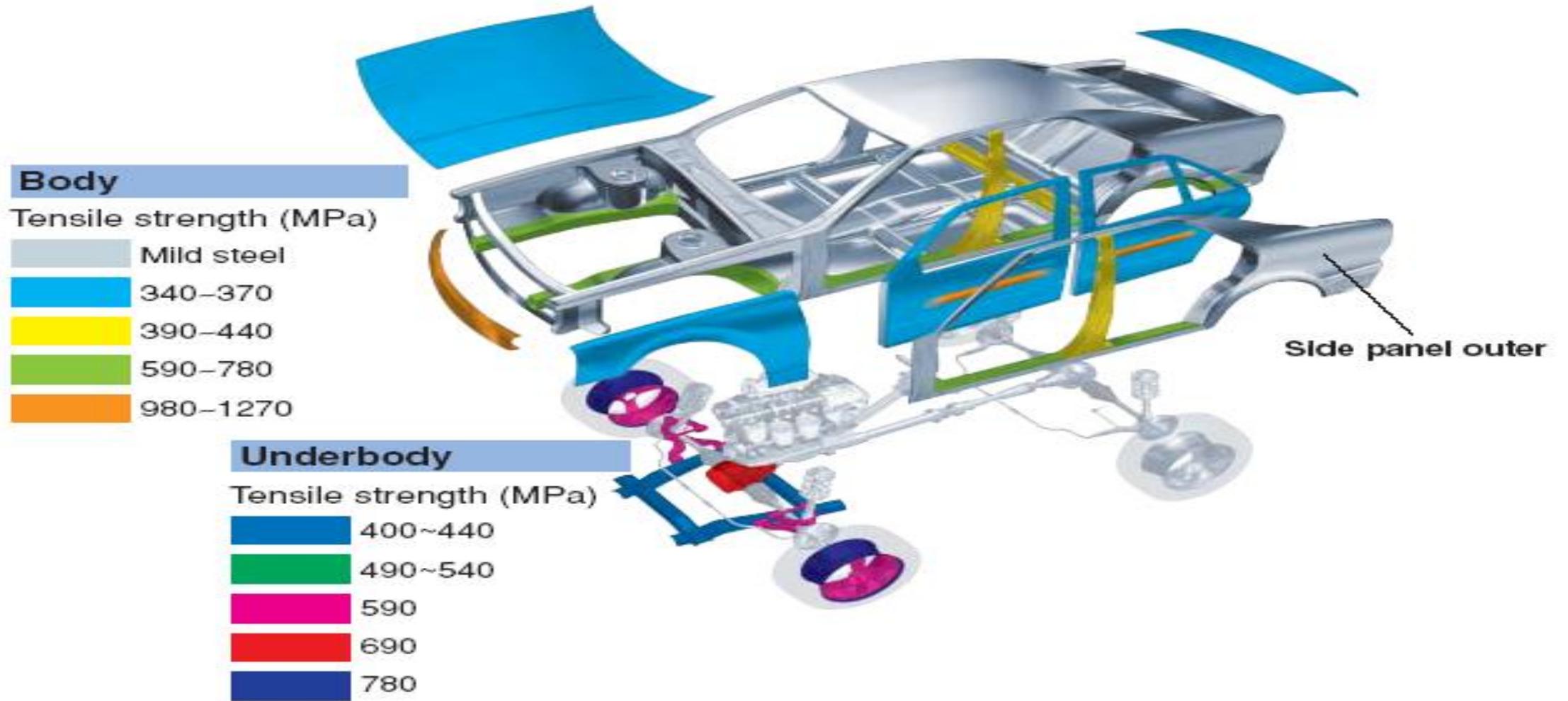
<b>Low strength steels</b>	YS < 210 MPa
<b>HSS</b>	YS 270-550 Mpa
<b>AHSS</b>	YS > 550 MPa

✓ Per gli acciai laminato a caldo si indica lo sforzo di snervamento per gli acciai laminati a freddo quello di rottura.

Nei convenzionali HSS, un' alta resistenza è associata ad una bassa formabilità, dovuta al meccanismo di microalligazione usato per aumentarne la resistenza

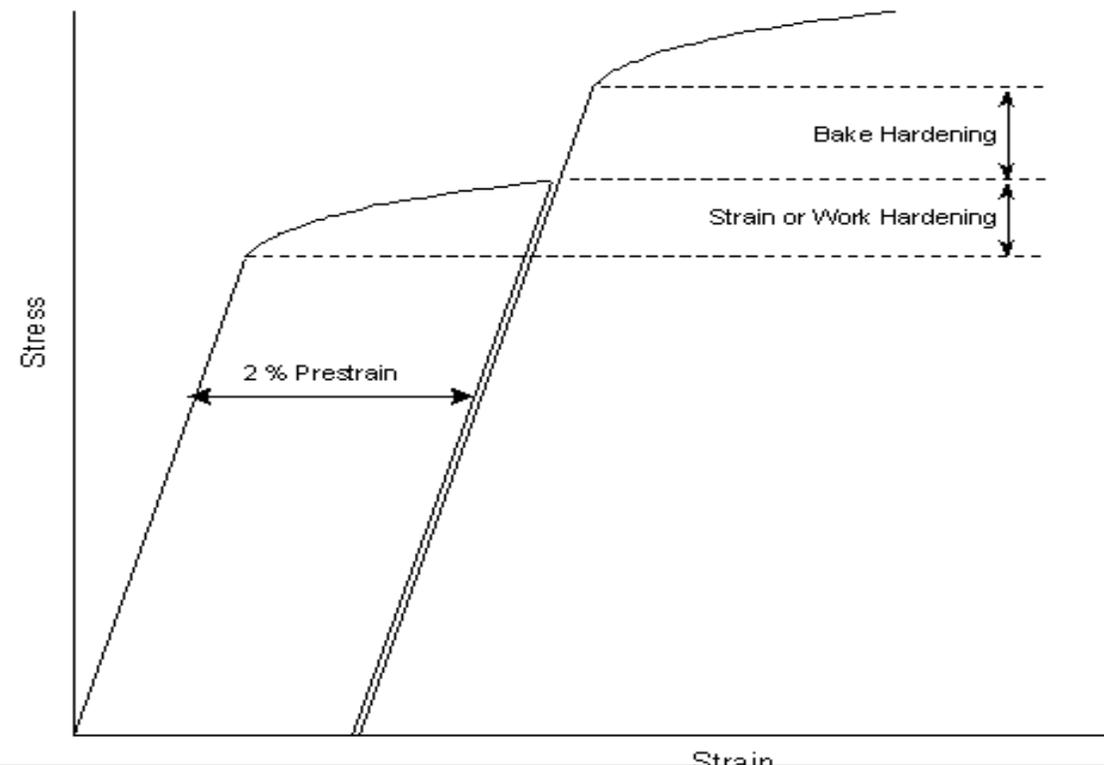
Gli AHSS mostrano eccellenti proprietà meccaniche, avendo alta resistenza e alta formabilità. Questo permette la creazione di parti con geometrie complicate, con un miglior design e minori scarti.





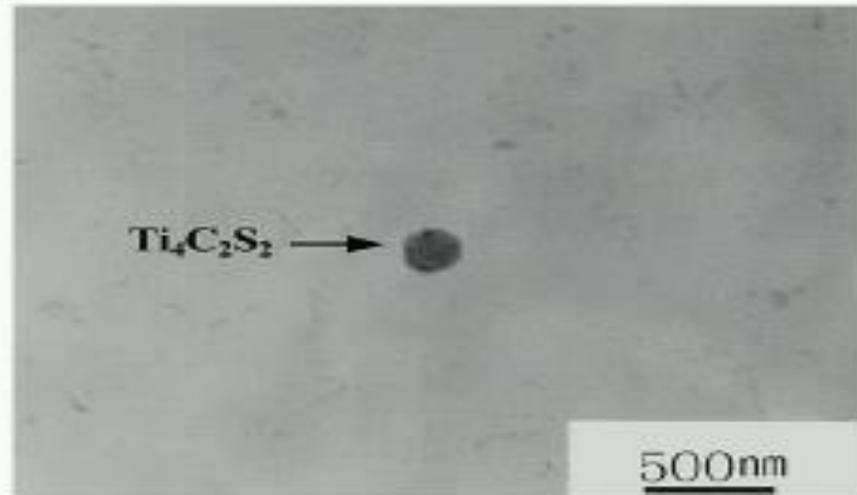
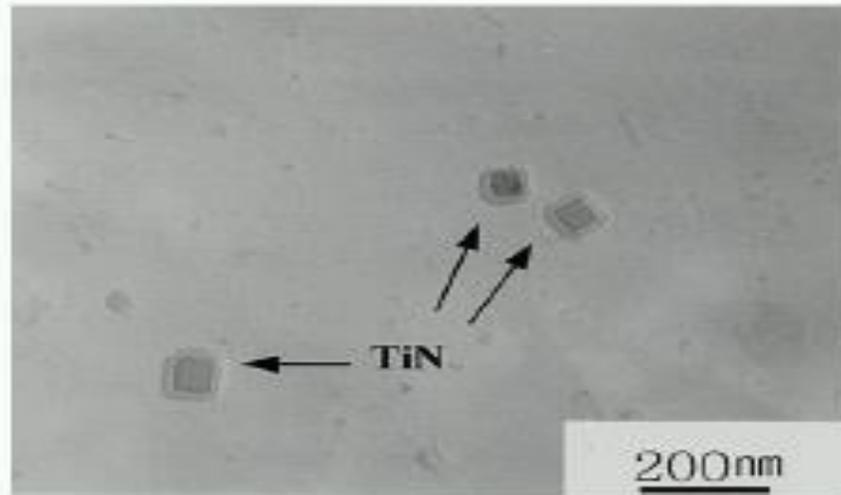
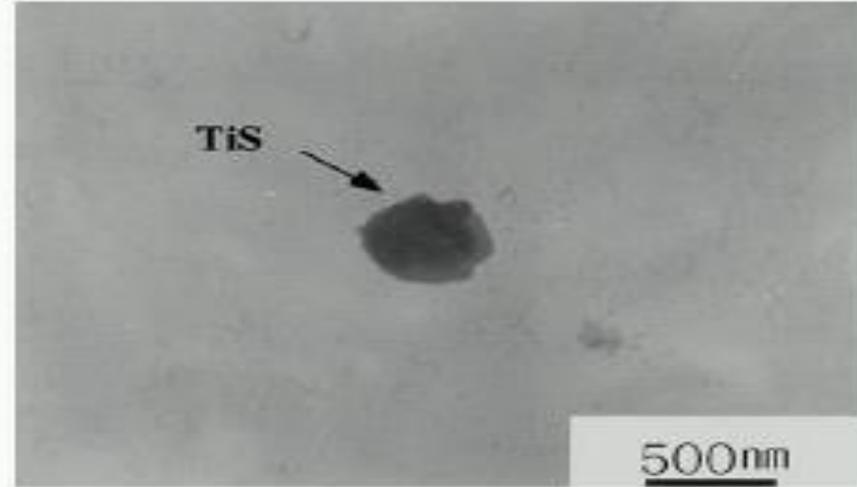
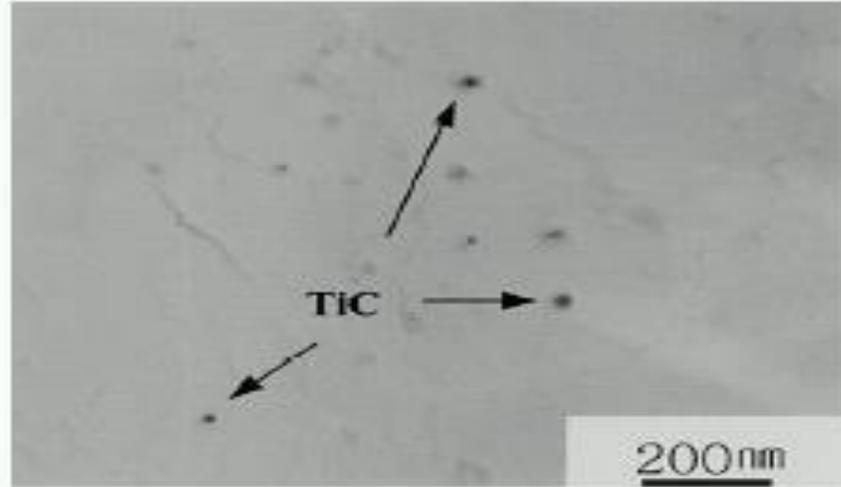
## Acciai BH

Negli acciai “bake-hardenable” (indurimento al momento della cottura della vernice), la capacità di invecchiamento degli acciai calmati all'alluminio è messa a profitto per provocare un aumento del limite di elasticità sul pezzo finito. Infatti, questi acciai permettono di conciliare una buona attitudine alla stampaggio e una buona resistenza alla deformazione plastica del pezzo,



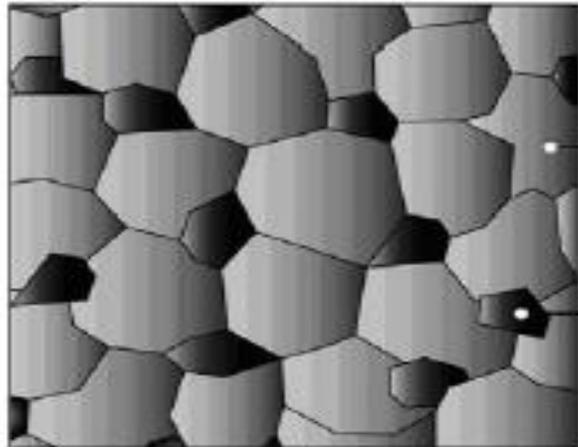
## Gli acciai HSLA: Introduzione

- La norma ASTM A568 definisce gli acciai HSLA (*high-strength, low-alloy steel*) come un gruppo specifico di acciai nei quali l'alta resistenza meccanica e in qualche caso una migliore resistenza alla corrosione atmosferica o una formabilità migliore, sono ottenute tramite una quantità moderata di uno o più elementi alliganti.
- E' necessario bilanciare bene le aggiunte di elementi microleganti e il processo di produzione (laminazione in controllo di temperatura, incremento velocità di raffreddamento) per ottenere la voluta combinazione di proprietà richieste.
- Gli elementi microleganti più utilizzati sono V, Nb, Ti, N.
- Sono materiali strutturali molto importanti in quanto abbinano alta resistenza meccanica (410 – 550 MPa), tenacità, buona deformabilità e saldabilità (basso contenuto di C, 0,05-0,25%).



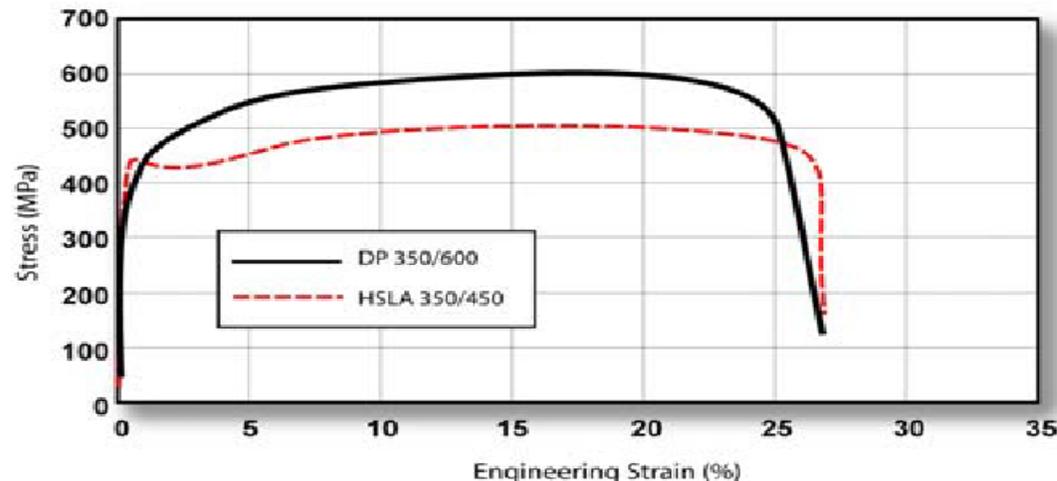
Steels	Microstructure	Characteristic features
<b>LC</b>	$\alpha$	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Mild</b>: unalloyed Al-killed low carbon steels; DQ, extra deep-drawing grades</li> <li>- <b>IF</b>: interstitial free steels; microalloyed extra deep-drawing grades</li> </ul>
<b>HSS</b>	$\alpha$	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>BH</b>: bake hardening steel grades, which show additional strengthening during paint bake treatment by controlled C aging</li> <li>- <b>IF-HS</b>: high-strength interstitial free steels, strengthened by Mn and P addition</li> <li>- <b>P</b>: P alloyed high strength steels</li> <li>- <b>IS</b>: steels with medium yield strength and isotropic flow behaviour, microalloyed with Ti or Nb</li> <li>- <b>CMn</b>: high strength steels with increased C, Mn and Si contents for solid solution strengthening</li> <li>- <b>HSLA</b>: high strength low alloy steels, strengthened by microalloying with Nb or Ti</li> </ul>
<b>AHSS</b>	$\alpha+\alpha'$ $\alpha+\alpha_B+\gamma_R$ $\alpha'+\alpha$ $\alpha+\alpha_B+\alpha'$	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>DP</b>: dual phase steels with a microstructure of ferrite and 5-30 volume% martensite islands</li> <li>- <b>TRIP</b>: transformation induced plasticity steels with a microstructure of ferrite, bainite and retained austenite</li> <li>- <b>PM</b>: partly or fully martensitic steels</li> <li>- <b>CP</b>: complex phase steels with a mixture of strengthened ferrite, bainite and martensite</li> </ul>
<b>HMS</b>	$\gamma$ or high fractions of $\gamma$	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>HMS-TRIP</b>: steels with an alloying concept that strain-induced <math>\gamma \rightarrow \epsilon \rightarrow \alpha'</math> transformation occurs</li> <li>- <b>HMS-TWIP</b>: steels with an alloying concept that mechanical twinning occurs during straining</li> </ul>

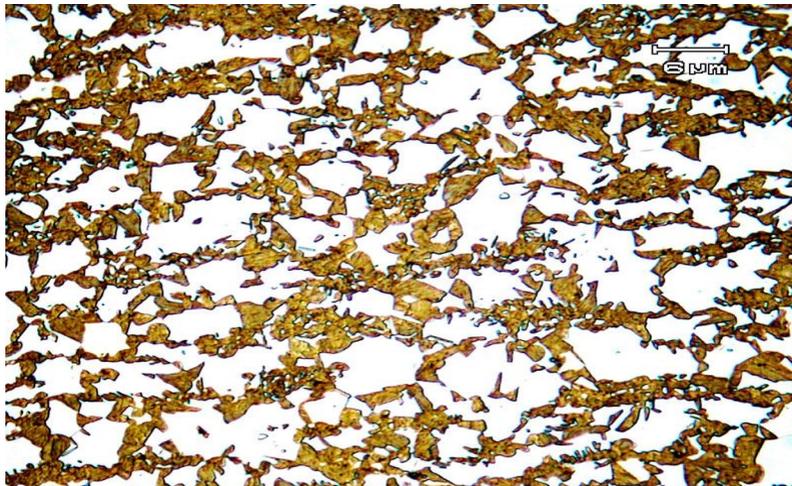
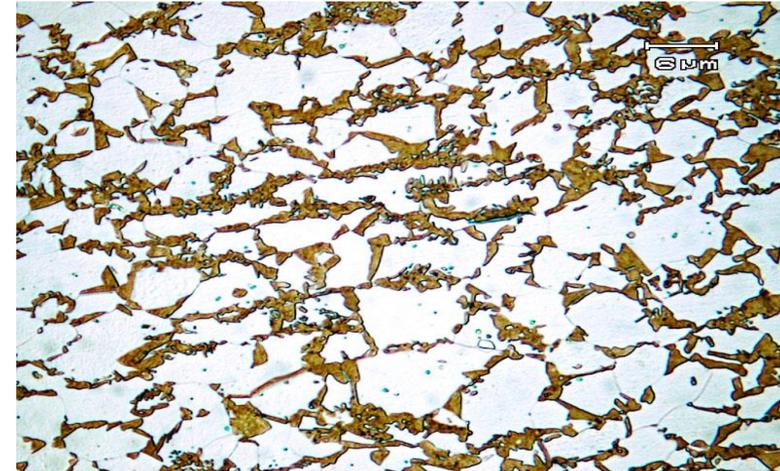
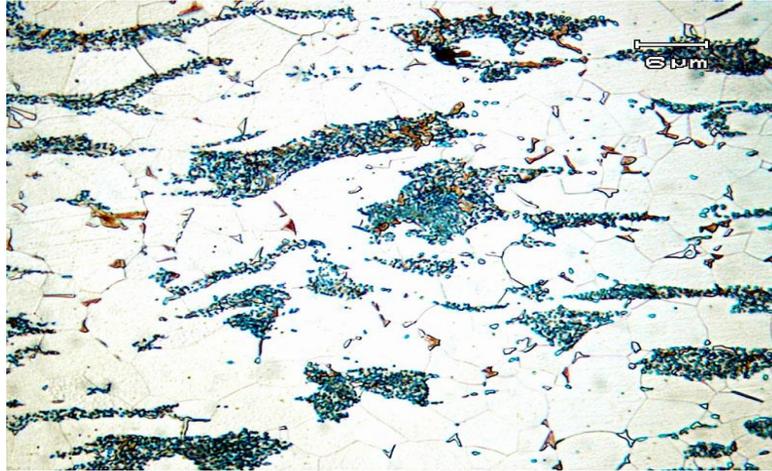
**Ferrite-Martensite DP**



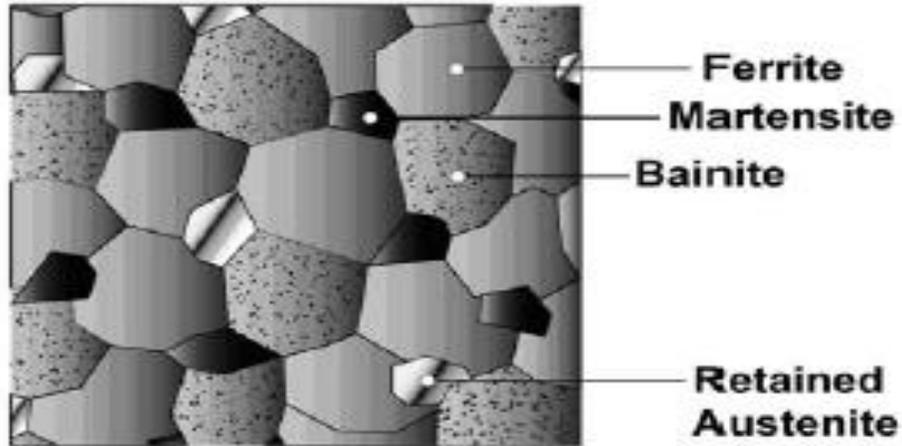
# Gli acciai Dual Phase (DP)

- Matrice ferritica con isole di seconda fase dura (martensite o bainite);
- La struttura ferritica è di solito continua in modo da garantire eccellente duttilità.
- Il coefficiente di incrudimento più l' eccellente allungamento portano, a pari snervamento, a un carico di rottura maggiore.
- Effetto di Bake Hardening.
- C, Mn, Cr, Mo, V, Ni incrementano la temprabilità.

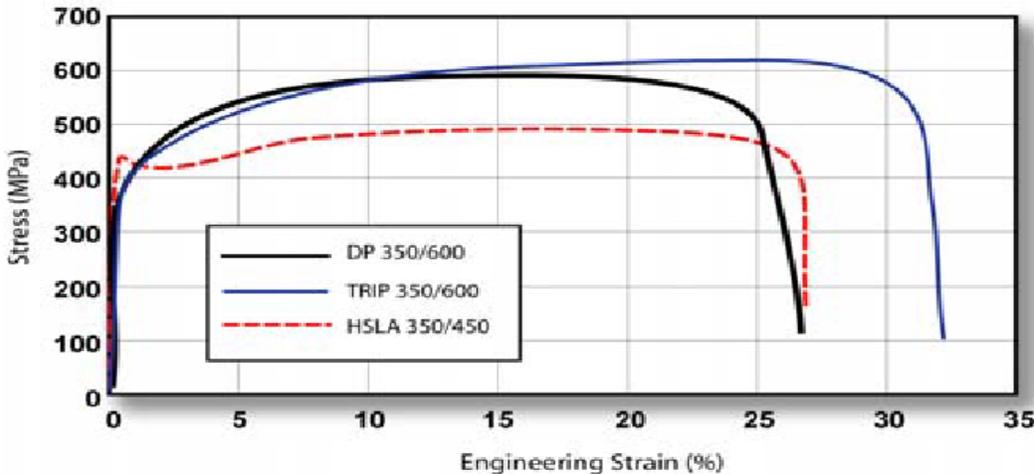




## Gli acciai Dual Phase : Microstruttura

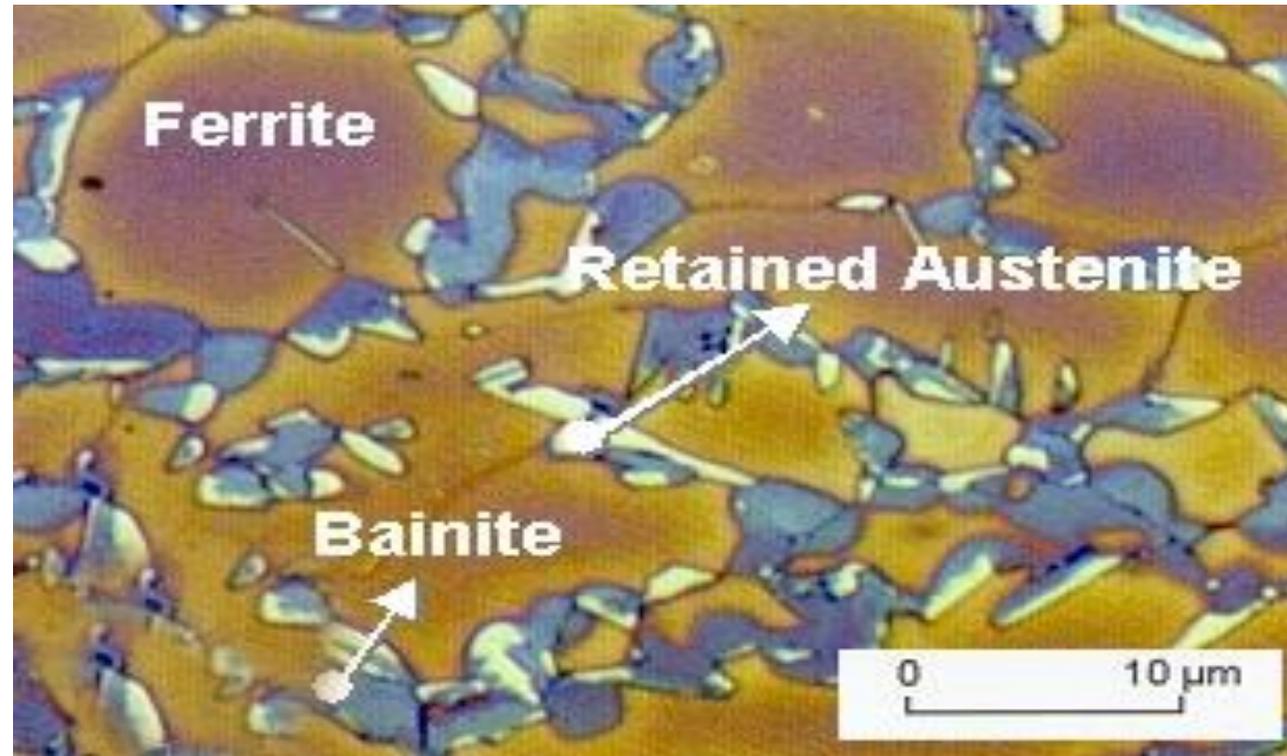


- Matrici di ferrite con isole di austenite residua (> 5% dovuta a  $M_s < T_{amb}$  per la presenza di una maggiore quantità di C) e di fasi “dure” (martensite, bainite) in differenti quantità.
- Durante la deformazione l'austenite si trasforma in martensite permettendo di ottenere elevati indici di incrudimento anche a elevate deformazioni.
- Eccellente formabilità adatta a parti complesse.
- Eccellente assorbimento di energia durante un impatto.



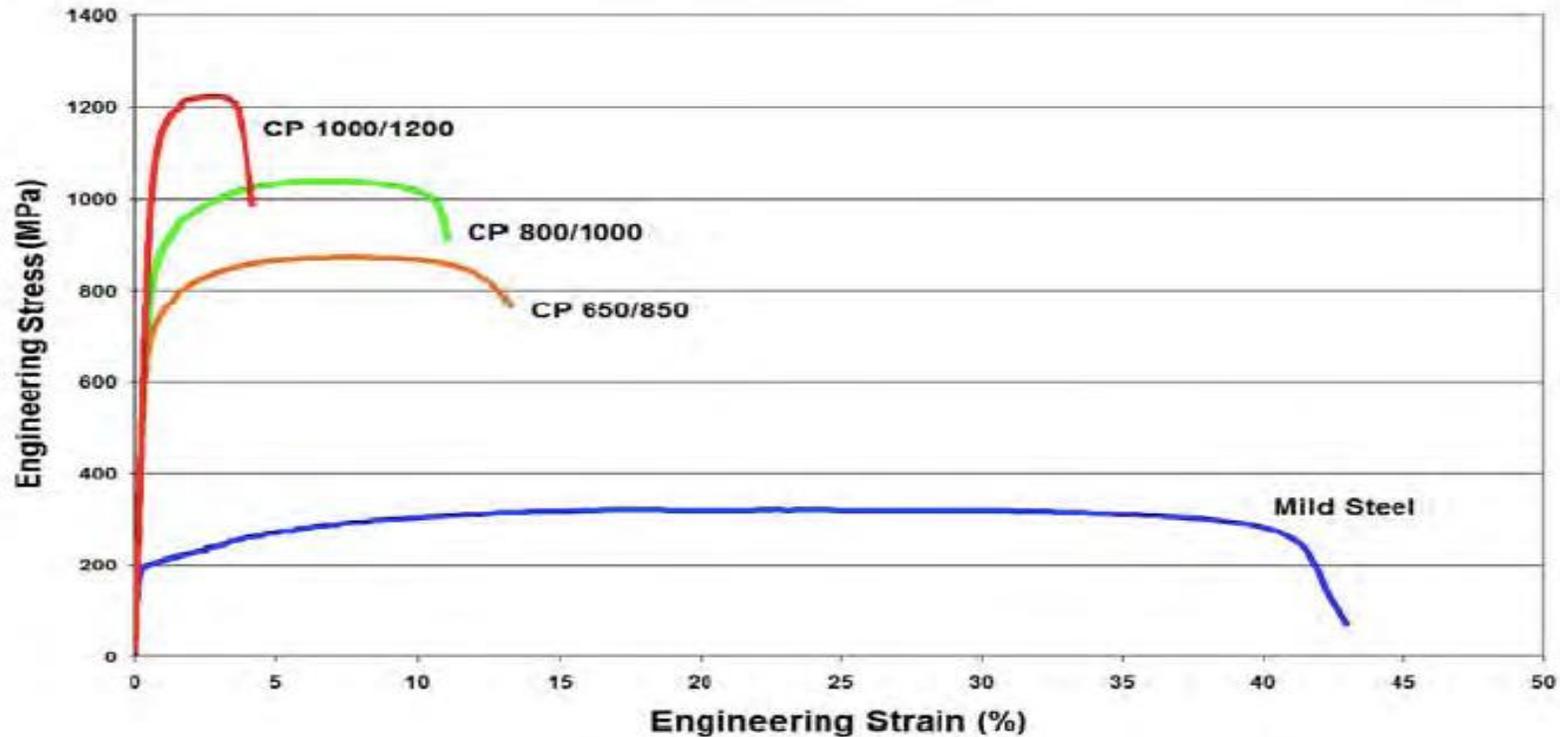
## Gli acciai TRIP (Transformation-Induced Plasticity)

## Gli acciai TRIP (Transformation-Induced Plasticity)

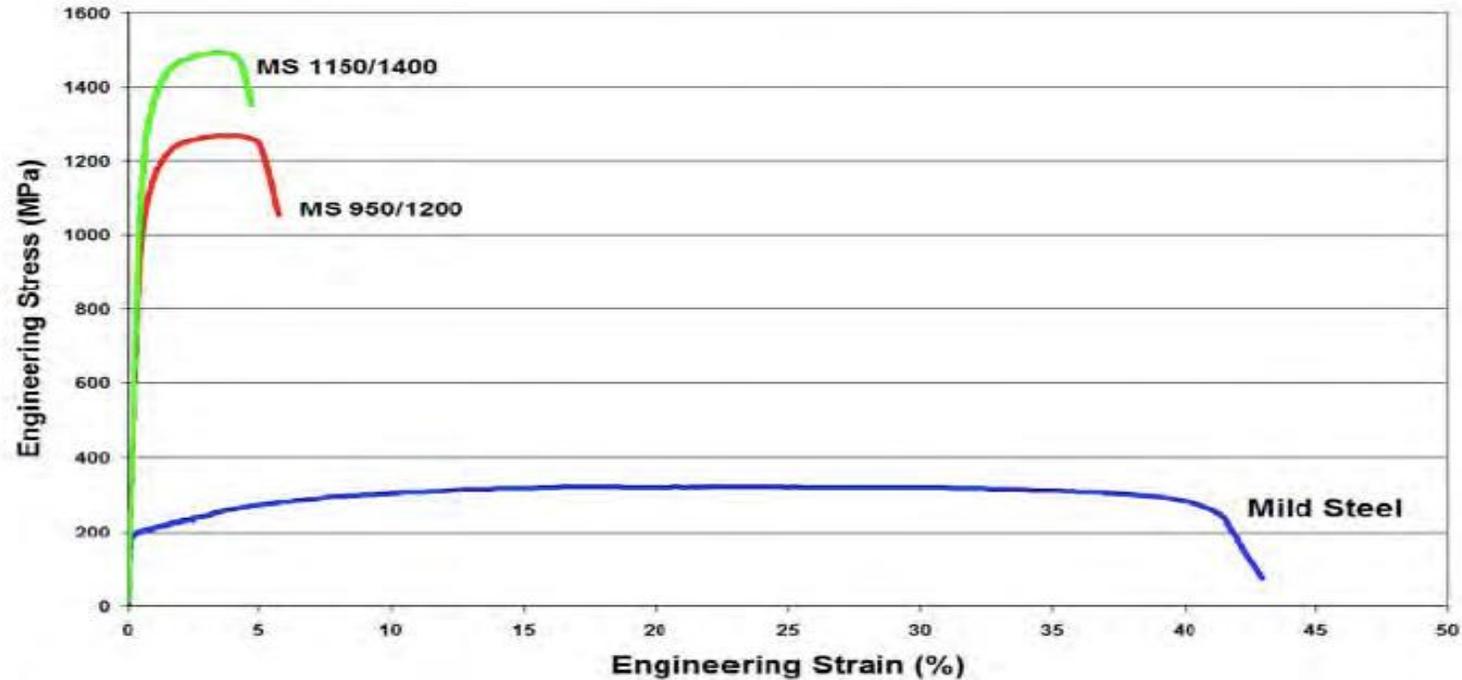


Microstruttura acciaio TRIP

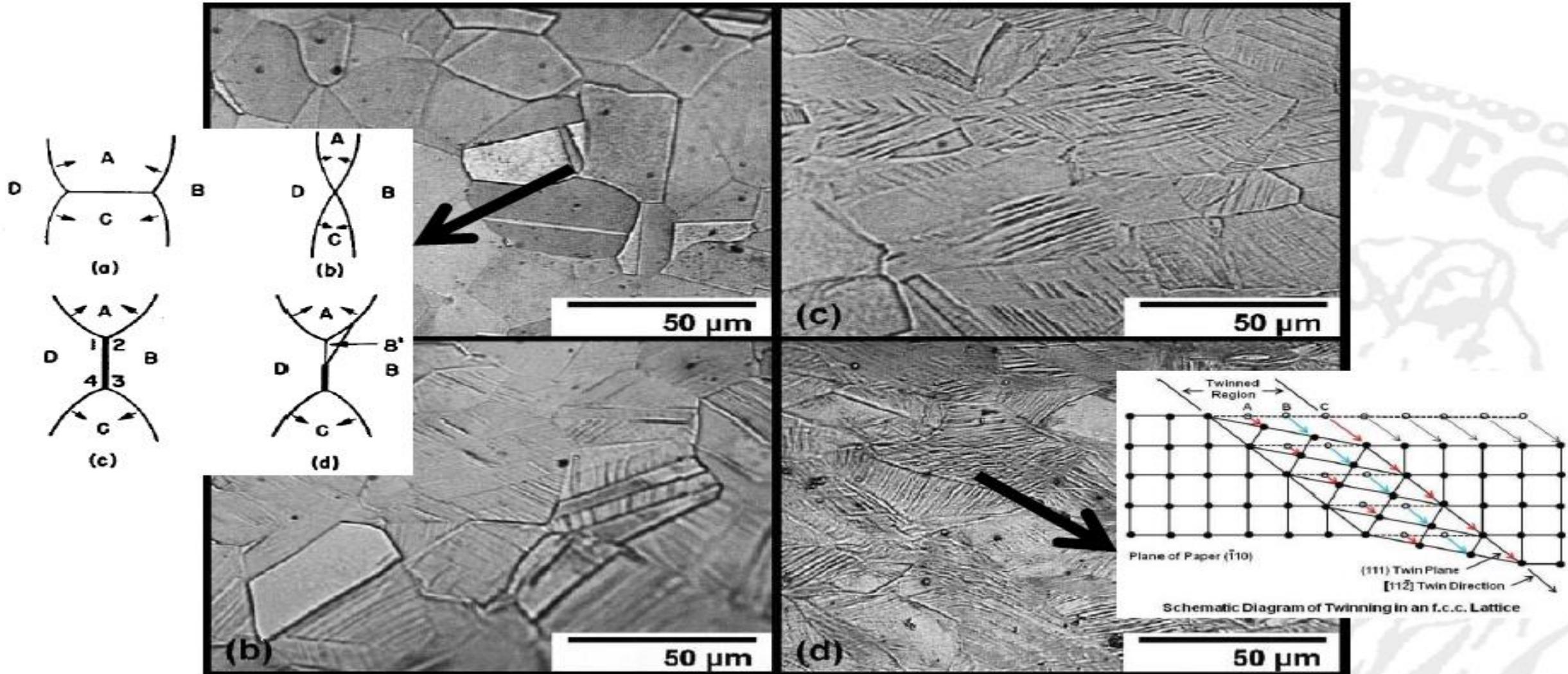
- ✓ Rappresentano il passaggio ad acciai con carichi di rottura molto elevati (> 800 MPa).
- ✓ Struttura molto fine di ferrite con un alta frazione di fasi dure ulteriormente rafforzata mediante precipitazione (elementi microleganti V, Nb, Ti).
- ✓ Alta deformabilità, alto assorbimento di energia, elevata capacità di deformazione residua.

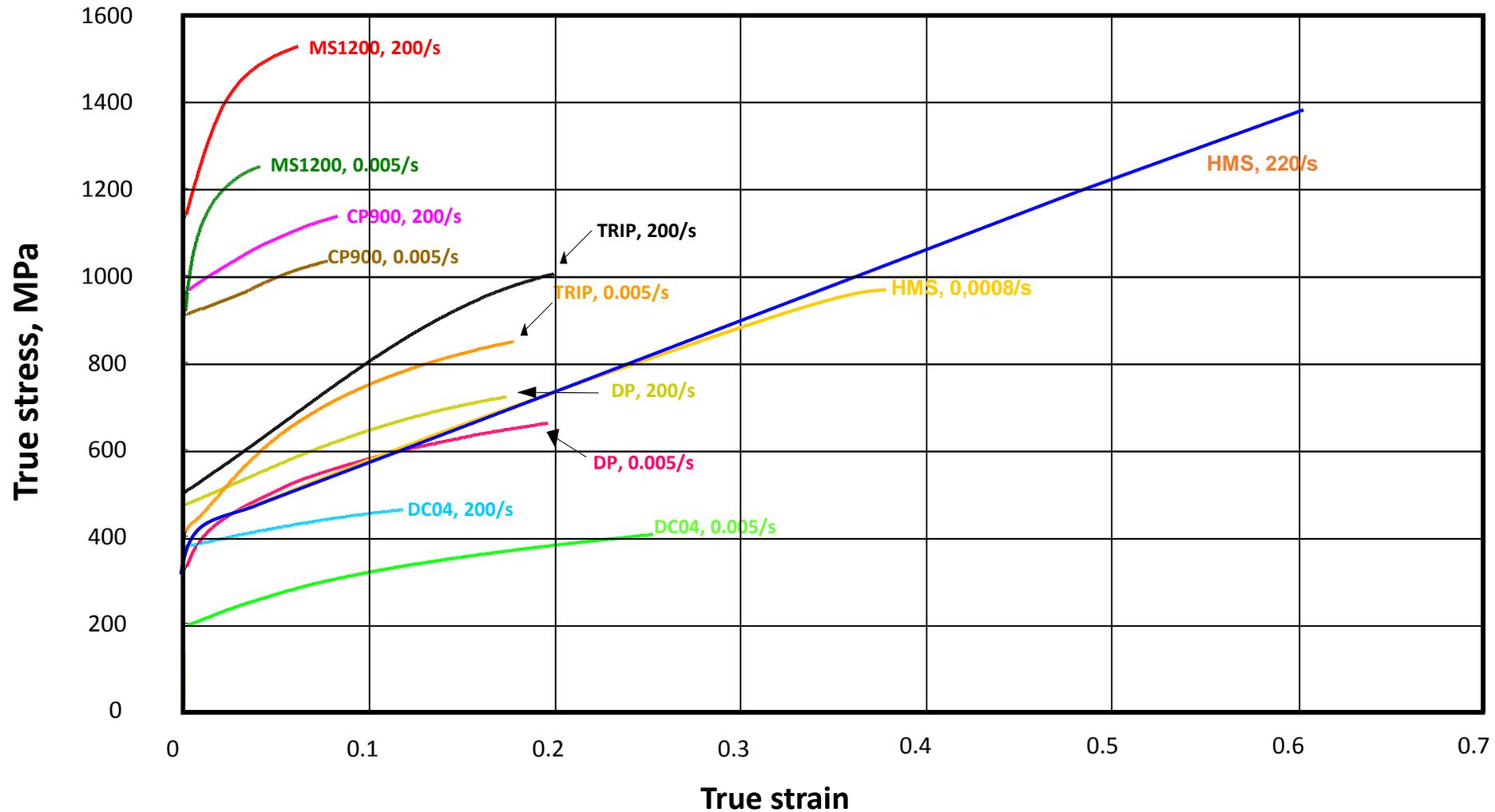


- ✓ La struttura è unicamente martensitica (C, Mn, Cr, Mo, B, V, Si, V, Ni) con piccole isole di ferrite o bainite.
- ✓ Consentono di raggiungere livelli di resistenza molto elevati (> 1700 MPa) mantenendo una certa formabilità (trattamento di rinvenimento).



- ✓ Gli acciai TWIP (twinning induced plasticity) sono formati da una singola fase, austenite, oppure da più fasi ma con prevalenza di austenite. Contengono una grande quantità di elementi alliganti e combinano eccellenti proprietà meccaniche con un concetto di alligazione più economico di quello utilizzato per i nuovi acciai inossidabili ad alta resistenza.
- ✓ Il comportamento durante il flusso plastico di questi acciai è interessante non solo per ragioni sia di “costruzione” (elevato rapporto resistenza/peso), ma anche per la risposta agli urti nei termini di capacità di assorbimento di energia.





# RESISTENZA ALLA CORROSIONE

## Rivestimento mediante Galvannealing

### Struttura dello strato d'acciaio zincato:

- Micrografia
- Ingrandimento di ca. 500 volte
- Leghe ferro-zinco
- Cristalli di differenti dimensioni
- Processo di diffusione
- ...



# Stampa 3D – Additive Manufacturing I limiti della struttura di solidificazione

