

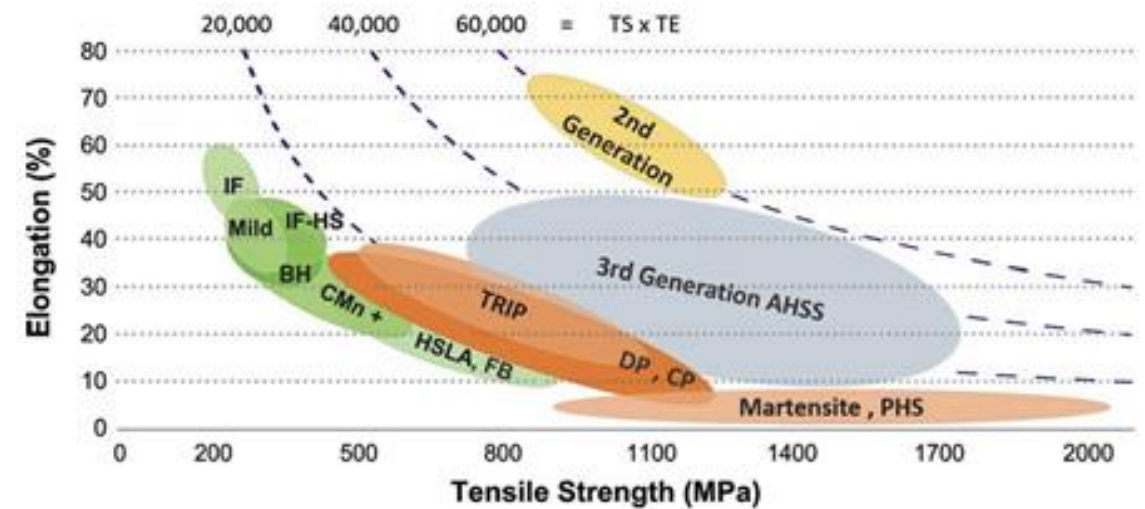
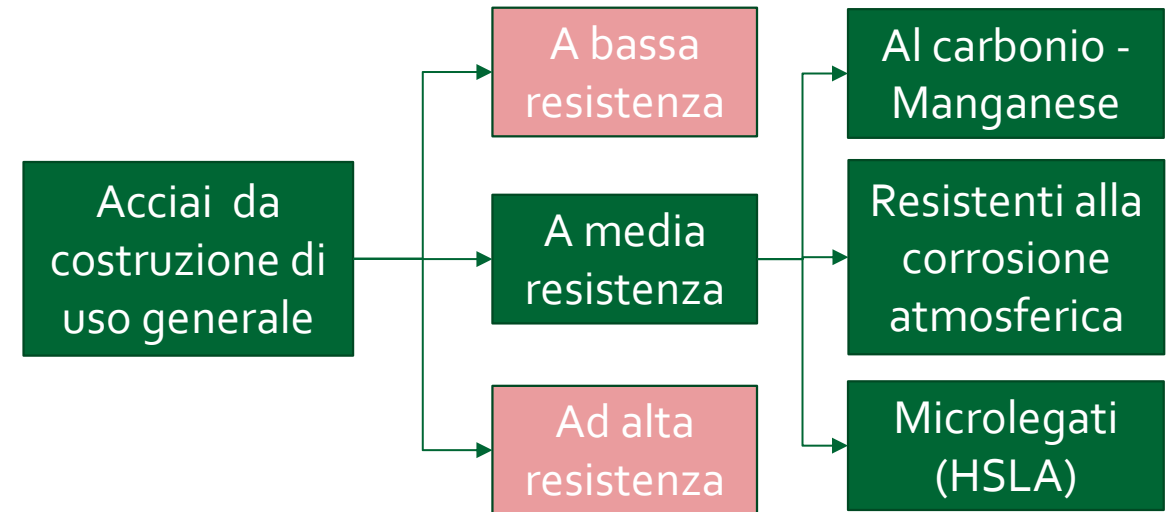
Leghe Ferrose

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

Luigi TRICARICO

Acciai da costruzione di uso generale – media resistenza

- ✓ Leghe ipoeutettoidiche Fe-C-Mn
 - Rispetto agli acciai a bassa resistenza hanno maggiori tenori di carbonio (0.1-0.2%) e manganese (0.8-2%)
 - Migliorare la resistenza meccanica, senza compromettere la resistenza alla frattura fragile e la saldabilità (C_{EV} di circa 0.4)
 - Microstruttura ferritico-perlitica con frazione di perlite crescente con l'aumento di %C e %Mn
 - Ha uno YS dell'ordine di 350 - 500 MPa, un UTS di 500 – 700 Mpa. L'allungamento percentuale a rottura (A%) è nel range 20-25%
 - Sono ottenuti seguendo specifici meccanismi metallurgico/tecnologici
 - Microallegazione
 - Laminazione termomeccanica



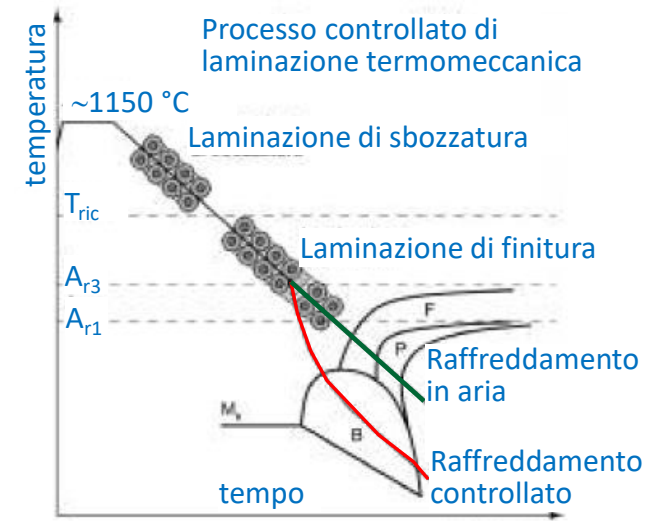
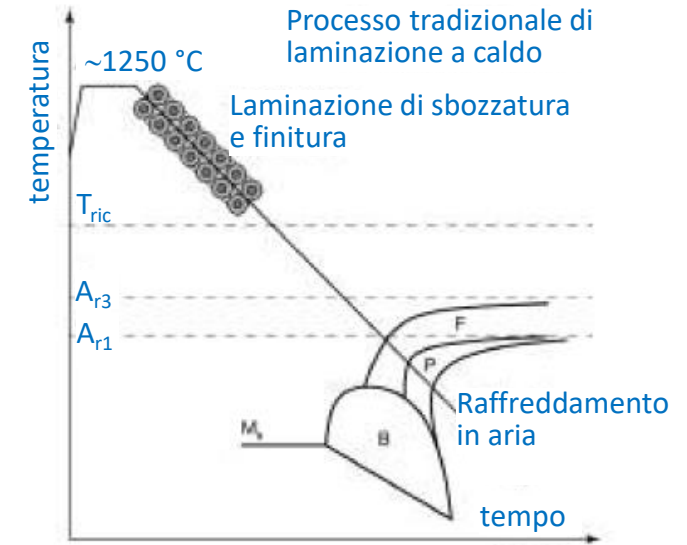
Acciai da costruzione di uso generale – media resistenza

○ Microalligazione

- Consiste nel modificare la composizione chimica introducendo piccole aggiunte di Niobio, Titanio e Vanadio (elementi microalliganti)
 - Agiscono durante il processo di deformazione plastica a caldo dei semilavorati, generando carburi, nitruri e carbonitruri di dimensioni nanometriche che si distribuiscono in modo omogeneo nella matrice ferritica
 - Forte limite all'accrescimento del grano cristallino durante le operazioni di deformazione plastica a caldo. Dimensioni del grano del semilavorato di 5-10 μm . Rafforzamento per affinamento del grano
 - La natura coerente dei precipitati crea un ostacolo al movimento delle dislocazioni nel semilavorato. Rafforzamento per precipitazione
 - Combinandosi con carbonio e azoto presenti in soluzione nella matrice ferritica, riducono la percentuale di perlite nell'acciaio, a favore della microstruttura ferritica che garantisce una buona duttilità e tenacità

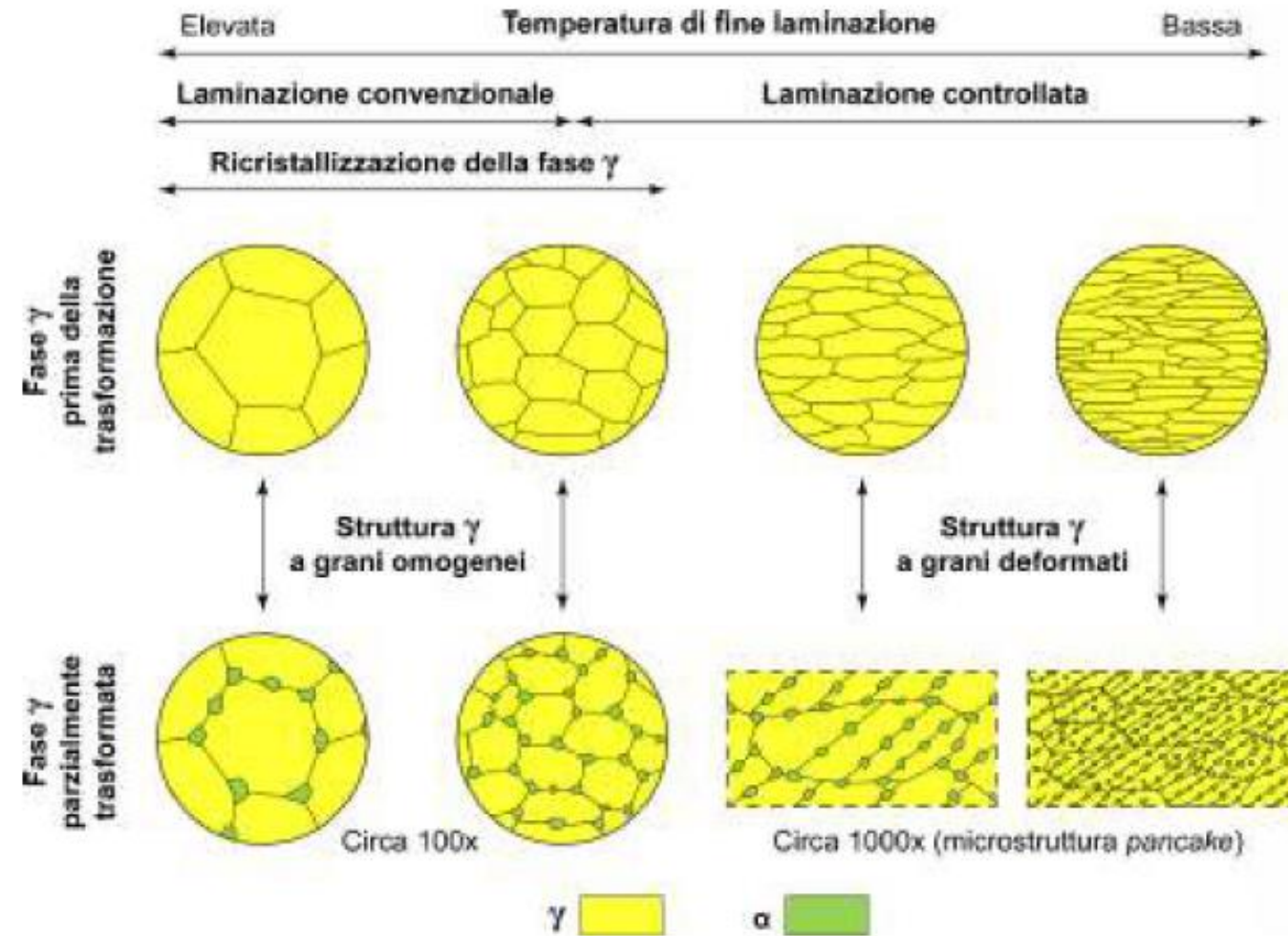
○ Laminazione termomeccanica

- Trattamento termomeccanico in cui la deformazione plastica a caldo del semilavorato ed il raffreddamento controllato a temperatura ambiente segue specifici vincoli
 - Unitamente alla microalligazione consentono una drastica riduzione delle dimensioni del grano ed un significativo incremento di YS e UTS
- Nella laminazione tradizionale la deformazione plastica a caldo l'acciaio è riscaldato sino a temperatura di circa 1250 °C e tutta la deformazione plastica a caldo è eseguita a temperature superiori a quella della ricristallizzazione dinamica (T_{ric})
 - Si ottiene una microstruttura austenitica completamente ricristallizzata che con il raffreddamento in aria genera una struttura ferritico-perlitica di medie dimensioni. Un affinamento del grano con normalizzazione successiva
- Nella laminazione termomeccanica controllata, l'acciaio è riscaldato ad una temperatura minore (1150 °C) per limitare l'ingrossamento del grano. La deformazione plastica è ripartita tra deformazioni sopra la temperatura di ricristallizzazione, tra la temperatura di ricristallizzazione dinamica e quella di inizio trasformazione ferritica (A_{r3}), ed eventualmente nel campo inter-critico (campo bifasico in cui è presente Fe- γ e Fe- α)
 - A fine laminazione si ottiene una struttura austenitica o austeno-ferritica fortemente incrudita (con bande di deformazione ad elevate densità di dislocazioni)



Acciai da costruzione di uso generale – media resistenza

- Un lento raffreddamento in aria permette di ottenere una struttura completamente ferritica o perlitico-ferritica molto fine
 - Un rapido raffreddamento in acqua premette di ottenere una struttura finissima di tipo bainitico con eventuale o ferrite aciculare
- Criticità nel riscaldamento di un HSLA a temperature oltre 400 °C, per effetti di ricristallizzazione, coalescenza dei micro-precipitati, indesiderate trasformazioni strutturali. Per esempio in un giunto saldato:
- in un HSLA si ha peggioramento della resistenza nella zona fusa e nella zona termicamente alterata,
 - In un acciai da costruzione di uso generale tradizionale, il peggioramento della resistenza meccanica si ha ad una certa distanza dal cordone di saldatura, mentre si osserva una maggiore resistenza nella zona fusa e nella zona termicamente alterata



Ricristallizzazione statica:

Avviene quando un materiale incrudito è riscaldato ad una temperatura critica (temperatura di ricristallizzazione statica), con formazioni di grani fini che aumentano di dimensione con l'aumento del tempo di mantenimento ad alta temperatura

Ricristallizzazione dinamica:

Avviene durante il processo di deformazione plastica ad una temperatura critica (temperatura di ricristallizzazione dinamica). La ricristallizzazione avviene in modo continuo, senza accrescimento del grano, per il continuo incrudimento del grano ricristallizzato



**Dipartimento
Meccanica
Matematica
Management**

TECNOLOGIA MECCANICA II – PARTE II
Luigi TRICARICO

MUR
Dipartimento
di Eccellenza
2018-2022
2023-2027

Acciai da costruzione di uso generale – media resistenza

- ✓ Al carbonio-manganese per impieghi strutturali (C-Mn Steels)
 - Garantiscono resistenza medio-alta
 - Oltre a C (0.16-0.23%) e Mn (1.4-1.7), anche microalliganti (Ti, Nb, V)
 - I semilavorati
 - sono ottenuti tramite laminazione tradizionale o laminazione termomeccanica
 - Dopo laminazione possono essere trattati termicamente mediante trattamenti di normalizzazione (struttura ferritico-perlitico a grana fine) o bonifica (bainite e/o martensite rinvenuta)
 - Stesse applicazioni degli acciai da costruzione di uso generale al carbonio, ma con livelli di resistenza maggiori

S: Impieghi strutturali, YS, K2: resilienza minima di 40J a -20 °C

P: Impieghi in pressione, YS, D: temprato e rinvenuto: H: Impeghi ad alte temperature

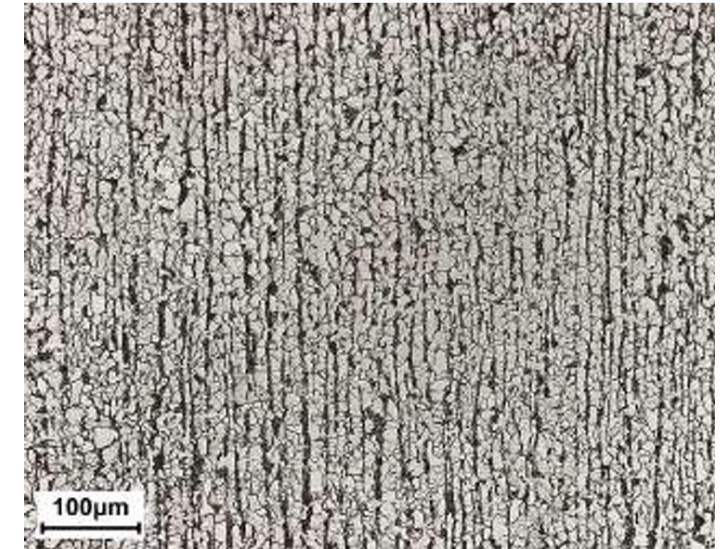
E: Tubo in acciaio saldato laminato a caldo, YS, M: ottenuto per laminazione termomeccanica

L: Tubi per trasporto di prodotti petroliferi, YS, NE: trattamento di normalizzazione

S3-150mm

Designazione	Normativa	%C	%Si	%Mn	%P	%S	%N	%Cu	%Al _{tot}
S335K2	EN 10025-2	≤ 0,20	≤ 0,55	≤ 1,60	≤ 0,025	≤ 0,025	---	≤ 0,55	(°)
P460QH (*)	EN 10028-6	≤ 0,18	≤ 0,50	≤ 1,70	≤ 0,025	≤ 0,010	≤ 0,015	≤ 0,30	(°)
E420M (**)	EN 10296-1	≤ 0,16	≤ 0,50	≤ 1,70	≤ 0,035	≤ 0,030	≤ 0,020	n.s.	≤ 0,020
L415NE (***)	EN ISO 3183	≤ 0,23	≤ 0,45	≤ 1,40	≤ 0,025	≤ 0,015	≤ 0,012	≤ 0,25	≤ 0,015

Designazione	Normativa	Carico unitario di snervamento, R _{p0.2} [MPa]	Carico unitario di rottura, R _m [MPa]	Allungamento a rottura, A%	Posizione prelievo saggi
S335K2 (*)	EN 10025-2	≥ 355	470-630	≥ 20	longitudinale
P460QH (**)	EN 10028-6	≥ 460	550-720	≥ 19	longitudinale
E420M (***)	EN 10296-1	≥ 420	≥ 500	≥ 19	longitudinale
L415NE (****)	EN ISO 3183	415-565	520-760 (°)	≥ 20	longitudinale



Acciaio EN S355K2. Struttura ferritica a bande, orientata nella direzione di laminazione



**Dipartimento
Meccanica
Matematica
Management**

TECNOLOGIA MECCANICA II – PARTE II
Luigi TRICARICO

MUR
Dipartimento
di Eccellenza
2018-2022
2023-2027

Acciai da costruzione di uso generale – media resistenza

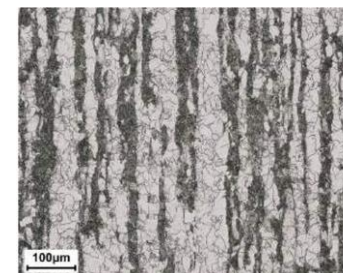
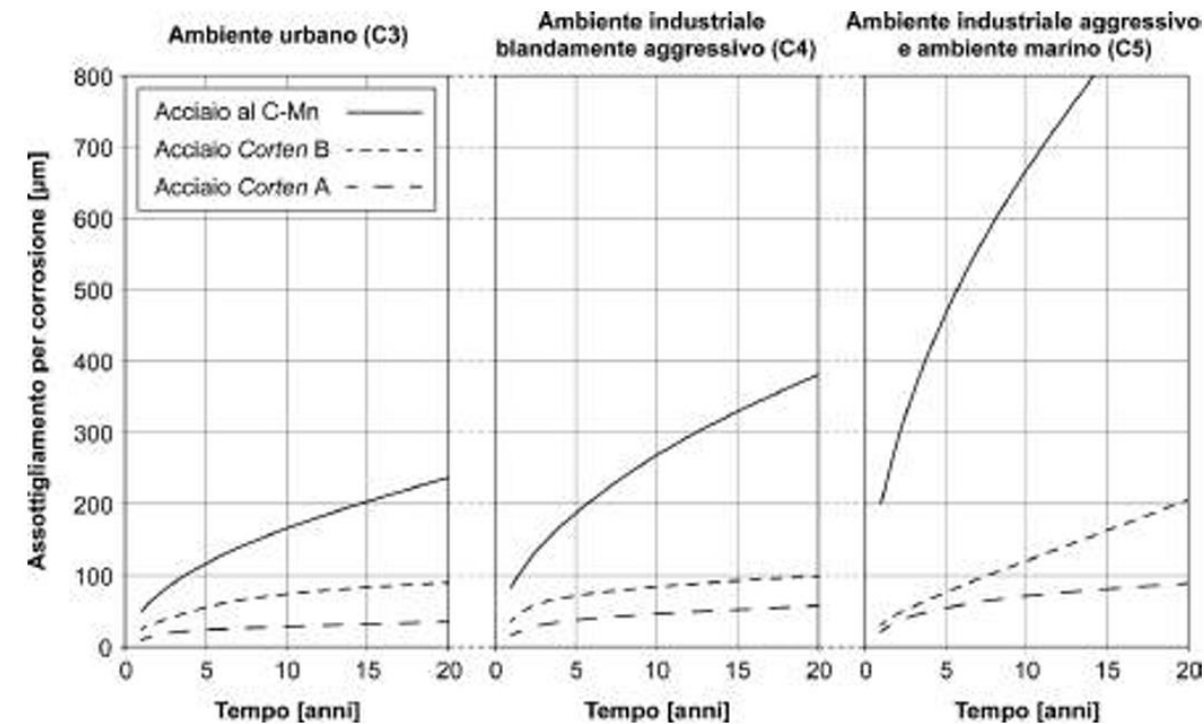
✓ Resistenti alla corrosione atmosferica (Weathering Steels)

- Sono noti come acciai Corten (Corrosion-Tensile), per sottolineare che oltre a resistenza meccanica ($500 \text{ Mpa} \leq \text{UTS} \leq 700 \text{ Mpa}$) questi acciai garantiscono resistenza alla corrosione atmosferica in ambienti moderatamente aggressivi (ambienti rurali, urbani) o industriali debolmente aggressivi
 - Resistenza alla corrosione per formazione di una patina compatta di ossidi/idrossidi di ferro di tipo complesso
 - L'ossido (di colore bruno-marrone simile alla ruggine), si riforma quando danneggiato meccanicamente
- Leghe Fe-C-Mn con aggiunte bilanciate di rame, cromo e fosforo (in qualche caso nickel) in tenori compresi tra 1-5%
 - Applicazioni strutturali che non richiedono alcuna protezione (verniciatura, zincatura) prima della messa in servizio in ambiente civile (ponti, barriere stradali, tralicci sculture, arredo urbano, o industriale (container per trasporti merci)

S: Strutturali, YS, J2: resilienza minima di 27J a -20 °C, W: Res. corrosione, P: fosforo
 S: Strutturali, YS, J2: resilienza minima di 27J a -20 °C, W: Res. corrosione,

Designazione	Normativa	%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Cr	%Cu	%Al _{tot}
S355J2WP (*)	EN 10025-5	≤ 0,12	≤ 0,75	≤ 1,00	0,06-0,15	≤ 0,030	0,30-1,25	0,25-0,55	(°)
S355J2W (**)		≤ 0,16	≤ 0,50	0,50-1,50	≤ 0,030	≤ 0,030	0,40-0,80	0,25-0,55	(°)

Designazione	Normativa	Carico unitario di snervamento, R _{p0.2} [MPa]	Carico unitario di rottura, R _m [MPa]	Allungamento a rottura, A%	Posizione prelievo saggi
S355J2WP (*)	EN 10025-5	≥ 355	470-630	≥ 22	longitudinale
S355J2W (*)					



Acciaio EN S355WP



**Dipartimento
Meccanica
Matematica
Management**

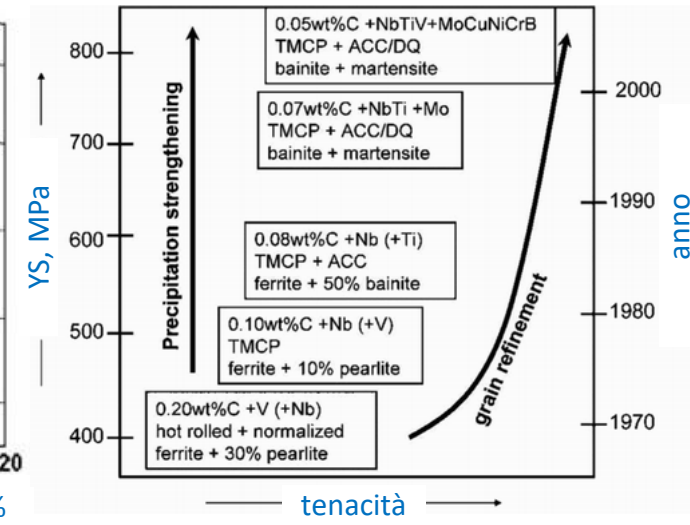
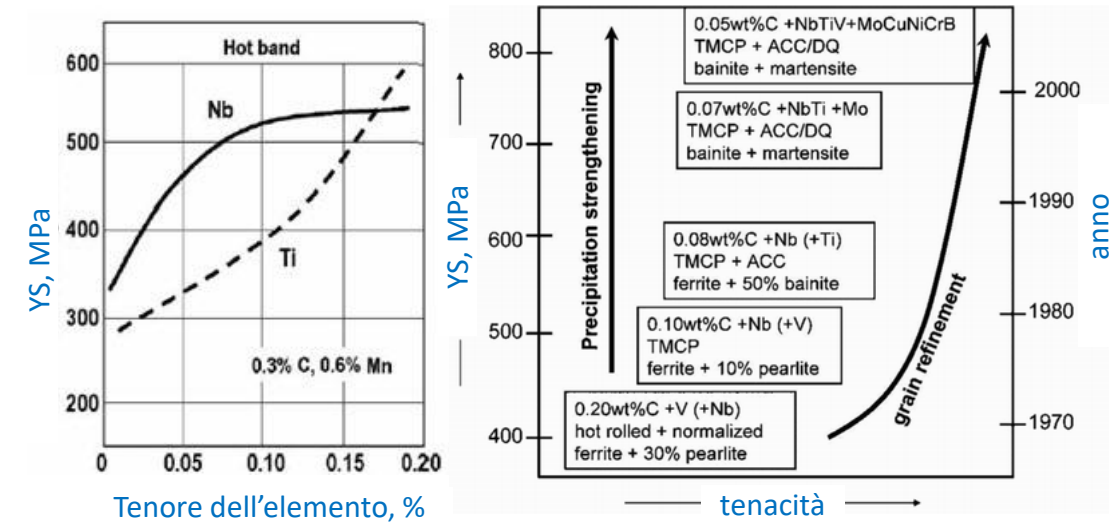
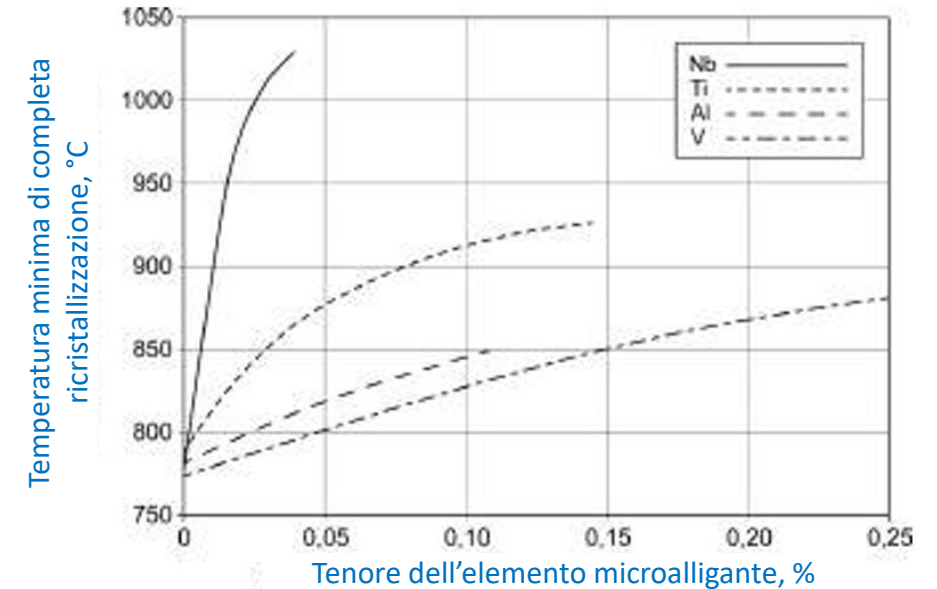
TECNOLOGIA MECCANICA II – PARTE II
 Luigi TRICARICO

MUR
 Dipartimento
 di Eccellenza
 2018-2022
 2023-2027

Acciai da costruzione di uso generale – media resistenza

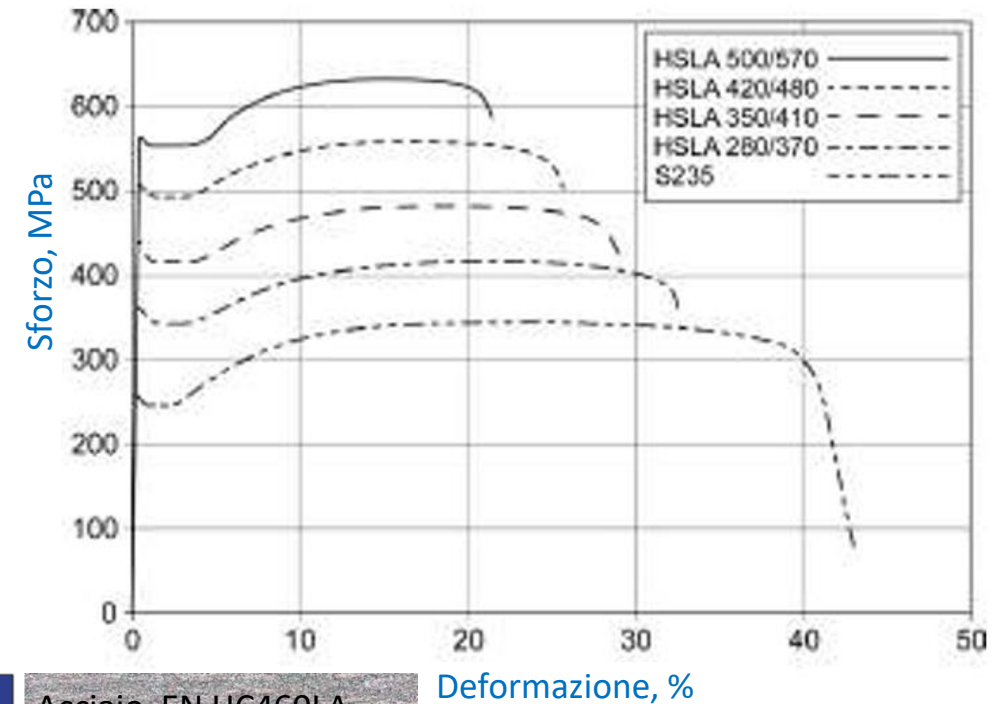
✓ Microlegati (HSLA, High Strength Low Alloy)

- Acciai con tenori di carbonio (0.05-0.15), manganese sino al 2% e tenori controllati di N
- Aggiunta di piccole percentuali di microalliganti (Nb, Ti, V a volte anche B), nei comuni acciai C-Mn. Tenore complessivo dei microalliganti non superiore al 0.22%
 - Completa solubilizzazione dei microalliganti alla temperatura di austenitizzazione (1150 – 1250 °C)
 - Trattamento termomeccanico. Duplice effetto dei microalliganti
 1. Rafforzamento per affinamento del grano. Inibizione della ricristallizzazione dinamica della microstruttura (in fase Fe- γ o Fe- α + Fe- γ) durante la deformazione plastica a caldo e/o durante il raffreddamento finale. Nano-precipitati (di niobio, vanadio e titanio) precipitati in prossimità del bordo di grano, hanno un effetto di ancoraggio sul bordo impedendo la sua crescita e ricristallizzazione dinamica
 2. Indurimento per precipitazione
 - L'effetto di rinforzo varia da elemento ad elemento
 - 0.02-0.03% di Nb creano un gran numero di precipitati, poiché il Nb ha una bassa solubilità nel Fe- γ . La ricristallizzazione è impedita sino a 950 – 1000°C. Nb favorisce strutture bainitiche in raffreddamenti accelerati dopo laminazione termomeccanica
 - 0.05-0.1% di V per la sua maggiore solubilità. Rispetto a Nb ha temperature minime di completa ricristallizzazione più basse. Sensibile rafforzamento della massa
 - 0.1-0.15% di Ti. Elevata solubilità nel reticolo del ferro (1200-1300 °C), che inibisce la crescita del grano durante il riscaldamento, ma costringe a maggiori quantità di alliganti. Effetto intermedio rispetto a Nb e V, sia nel rafforzamento per affinamento, che per precipitazione



Acciai da costruzione di uso generale – media resistenza

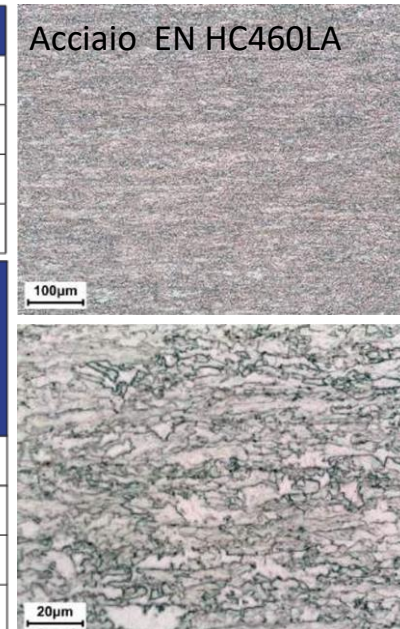
- I valori tipici di YS oscillano nel range 300 – 600 MPa, quelli di UTS in 450 – 750 MPa (anche 1200 – 1400 MPa). Un aumento della resistenza comporta una riduzione dell'allungamento percentuale a rottura, che oscilla nel range 30 – 10%
- Il basso tenore di carbonio ed il grano fine, contribuiscono entrambi ad aumentare la tenacità (temperature di transizione tra -45 °C e -50 °C)



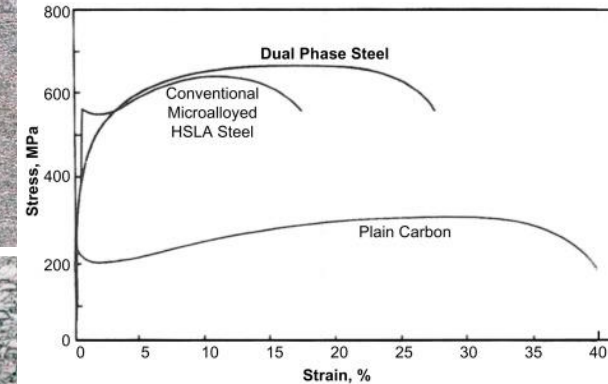
S: Strutturali, YS, M: trattamento termomeccanico, C: formabile a freddo
HC: Finito a freddo ad alto limite di snervamento, YS, J2: LA: Microlegato

Designazione	Normativa	%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Al _{tot}	%Nb	%V	%Ti
S355MC	EN 10149-2	≤ 0,12	≤ 0,5	≤ 1,5	≤ 0,025	≤ 0,020	≥ 0,015	≥ 0,09	≥ 0,20	≥ 0,15
S460MC		≤ 0,12	≤ 0,5	≤ 1,6	≤ 0,025	≤ 0,015	≥ 0,015	≥ 0,09	≥ 0,20	≥ 0,15
HC380LA	EN 10268	≤ 0,12	≤ 0,5	≤ 1,6	≤ 0,030	≤ 0,025	≥ 0,015	≥ 0,09	(*)	≥ 0,15
HC460LA		≤ 0,14	≤ 0,6	≤ 1,8	≤ 0,030	≤ 0,025	≥ 0,015	≥ 0,09	(*)	≥ 0,15

Designazione	Normativa	Carico unitario di snervamento, R _{p0.2} [MPa]	Carico unitario di rottura, R _m [MPa]	Allungamento a rottura, A%	Posizione prelievo saggi
S355MC (*)	EN 10149-2	≥ 355	430-550	19 (°)	longitudinale
S460MC (*)		≥ 460	520-670	14 (°)	longitudinale
HC380LA (**)	EN 10268	380-480	440-580	19 (°)	longitudinale
HC460LA (**)		460-580	510-660	13 (°)	longitudinale



Deformazione, %



**Dipartimento
Meccanica
Matematica
Management**

MUR
Dipartimento
di Eccellenza
2018-2022
2023-2027

TECNOLOGIA MECCANICA II – PARTE II
Luigi TRICARICO