

STRENX[®]
PERFORMANCE STEEL

GUIDA ALLA PROGETTAZIONE DEL RIMORCHIO

STRENX: IL PERCORSO PIÙ RAPIDO PER UN TRASPORTO EFFICIENTE.



SSAB

Introduzione

L'acciaio è il materiale ingegneristico più comune al mondo. Rispetto ad altri materiali, la produzione di acciaio richiede meno risorse economiche e consente di ottenere diverse qualità che si prestano ad un ampio campo di applicazioni e di processi produttivi. L'acciaio è anche il materiale più riciclato al mondo, ogni anno la quantità di acciaio riciclato è superiore a quella analoga totale di alluminio, carta, vetro e plastica. A partire dalle prime tracce storiche dell'acciaio, scovate in un sito archeologico in Turchia risalente a 4.000 anni fa, sono stati profusi grandi sforzi per sviluppare l'acciaio altoresistenziale di nuova generazione (AHSS - Advanced High Strength Steel) di cui beneficiamo oggi.

I mezzi di trasporto su strada, quali camion e rimorchi, possono trarre significativi benefici dai miglioramenti apportati ai metodi di progettazione e di produzione. La scelta dei materiali è fortemente connessa a tali aspetti ed influisce sulle prestazioni e sul costo di questi veicoli. L'impiego di acciaio AHSS permette lo sviluppo di soluzioni leggere, che si traducono direttamente in risparmio economico ed emissioni inferiori di CO₂.

L'AHSS è una scelta naturale per molte aziende che cercano di migliorare il loro prodotto e di essere più competitive. Le aziende di successo che utilizzano acciaio AHSS colgono l'occasione di essere all'avanguardia per quanto riguarda il materiale, la progettazione e lo sviluppo dei processi, pur beneficiando della conoscenza e dell'esperienza maturata negli anni con l'utilizzo dell'acciaio convenzionale. Con l'introduzione dell'acciaio AHSS, queste aziende stanno acquisendo nuove conoscenze da applicare alla progettazione e alla realizzazione dei loro prodotti.

SSAB è sempre molto attenta nell'assistere i propri clienti a sfruttare realmente i vantaggi degli acciai altoresistenziali di nuova generazione. Utilizzando l'acciaio AHSS di SSAB, non solo si può contare su un acciaio di alta qualità, bensì anche su conoscenze condivise. I produttori conoscono i loro prodotti: SSAB li assiste nella scelta e nell'impiego della migliore qualità di acciaio per la loro progettazione e industrializzazione.

Se si opera nel settore dei rimorchi e si desidera un carico utile maggiore, meno manutenzione, risparmio di carburante e aumento della durata utile, e se si mira ad ottenere un flusso di produzione più agevole, pur essendo ecologicamente responsabile, allora risulterà interessante la lettura del presente documento.

INDICE	Aspetti economici e ambientali dell'uso di acciaio AHSS nel settore dei rimorchi	4
	Progettazione	8
	MIGLIORAMENTO TIPICO	9
	RIGIDEZZA A FLESSIONE	10
	STABILITÀ	10
	FATICA	12
	PROBLEMATICHE COMUNI	13
	Produzione	18
	QUALITÀ DEI BORDI	18
	ZINCATURA A CALDO	18
	METODI DI SALDATURA	20
	Per il futuro	26

ASPETTI ECONOMICI E AMBIENTALI DELL'USO DI ACCIAIO AHSS NEL SETTORE DEI RIMORCHI



L'utilizzo di acciaio altoresistenziale (AHSS) nello sviluppo di rimorchi più leggeri e più resistenti ha dimostrato di avere un grande impatto sulle prestazioni economiche del veicolo. È ormai noto che sia i produttori di rimorchi che gli addetti al trasporto possono ottenere dei benefici economici, ma è anche necessario citare i vantaggi in termini di riduzione delle emissioni di CO₂.

BENEFICI PER I PRODUTTORI DI RIMORCHI

Esaminando i benefici economici, per il produttore di rimorchi è importante tener conto di tutti gli aspetti che interessano l'economia produttiva complessiva. Il semplice confronto tra i livelli di prezzo a tonnellata per le diverse qualità di acciaio non restituisce un'immagine fedele del livello dei costi di produzione. Nella maggior parte dei casi, ridurre lo spessore delle lamiere porterà a una riduzione dei costi sostanziali sia nella lavorazione del materiale sia nel costo dello stesso. Sebbene il prezzo per tonnellata sia più elevato nel caso di acciaio AHSS, grazie alla riduzione in termini di peso, il consumo di acciaio è inferiore. L'impiego di profili più sottili in officina permette una riduzione dei costi relativi a taglio, piega e saldatura. Il taglio laser dell'acciaio altoresistenziale non è diverso

da quello realizzato su acciaio tradizionale e il produttore sarà in grado di ridurre i tempi di taglio grazie al fatto che si lavorano spessori inferiori. La saldatura di un materiale più sottile rappresenta, nella maggior parte dei casi, la massima riduzione dei costi grazie alla riduzione dei materiali d'apporto e alla possibilità di aumentare la velocità di saldatura. L'introduzione di acciaio AHSS facilmente piegabile può permettere di ridurre ulteriormente il numero di operazioni di saldatura. La piegatura di profili in acciaio AHSS generalmente non richiede una forza superiore rispetto ad un profilo di maggior spessore realizzato con acciaio convenzionale. Tuttavia, il ritorno elastico dell'acciaio AHSS è maggiore rispetto all'acciaio convenzionale e durante il processo necessita di un'adeguata compensazione.

Per rendere meglio comprensibili questi problemi è stato eseguito un confronto tra i costi del telaio di un rimorchio pianale tradizionale e una soluzione alleggerita realizzata con acciai AHSS. Il telaio tradizionale considerato in questo studio viene realizzato in longheroni a doppia T laminati a caldo, tagliati e saldati nella zona a collo di cigno in modo da seguire la transizione in altezza delle solette. Le traverse consistono in profili piegati e saldati ai longheroni; il piano è supportato inoltre da alcune mensole. I profili dei montanti sono realizzati in travi standard a U. Tutte le parti sono prodotte in acciaio

classe S355. Nella soluzione leggera il longherone a doppia T laminato a caldo è stato sostituito da una trave longitudinale a doppia T in acciaio AHSS, tagliata a laser e saldata. Il miglioramento del telaio tradizionale mediante acciaio AHSS permette di ridurre lo spessore di tutte le principali parti strutturali e il peso del telaio è conseguentemente ridotto di circa 1.500 kg.

Oltre alla riduzione in termini di peso, è possibile osservare anche una riduzione dei costi di produzione pari al 30% (fig. 1). Il costo è stato diminuito sia per le operazioni di saldatura e taglio, ma anche per il materiale. In questo caso si può osservare un leggero aumento del costo per le operazioni di piegatura. A causa della nuova progettazione sono state introdotte nuove sezioni trasversali che richiedono più operazioni di piegatura. Una riduzione dei costi pari al 30% comporta ovvi benefici per il produttore e, se combinato alla produzione di un rimorchio leggero più appetibile, può dar vita a grossi vantaggi sul mercato. È anche interessante notare che questo studio è stato condotto su un telaio esistente, dove la maggior parte delle parti strutturali era realizzata con profili laminati a caldo. Se il telaio tradizionale esistente fosse stato realizzato con delle travi saldate, si sarebbe potuto ottenere un maggiore risparmio di costi.

BENEFICI PER L'AUTOTRASPORTATORE

Un rimorchio più leggero e più resistente rappresenta anche un vantaggio diretto e palese per l'operatore logistico, poiché il peso massimo del veicolo è limitato dalla legge. Una configurazione più leggera permette di aumentare il carico

utile in ogni viaggio e in molti casi si può registrare anche un minore consumo di carburante. Il risparmio complessivo di carburante può essere stimato in via tradizionale fino a 0,55 l/100 km per 1.000 kg di riduzione di peso. Questo influisce direttamente sui valori operativi di qualsiasi società logistica. A seconda del tipo di veicolo e della filosofia di miglioramento, il peso totale può generalmente essere ridotto dai 500 fino a 2.000 kg grazie all'acciaio AHSS. Selezionando le qualità di acciaio AHSS più adatte, si possono anche ridurre i costi relativi alla manutenzione. La combinazione tra l'alta resistenza e la resistenza ad abrasione e agenti atmosferici permette di soddisfare le elevate prestazioni richieste da questi veicoli.

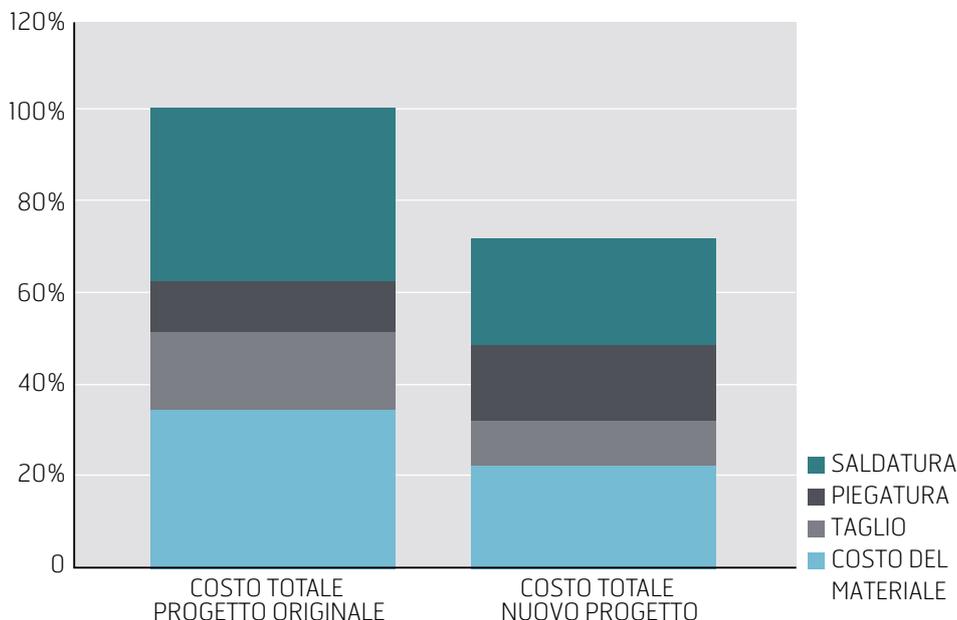
RISPARMIO AMBIENTALE

Oltre ai vantaggi economici, un veicolo più leggero ridurrà il proprio impatto ambientale risparmiando risorse energetiche primarie e riducendo le emissioni di gas serra.

Durante la valutazione del ciclo di vita di un veicolo vengono spesso analizzate diverse fasi. Messa a confronto la progettazione di un rimorchio realizzato in AHSS, rispetto ad uno realizzato con acciaio tradizionale, ci si rende conto di quale influenza può avere la qualità dell'acciaio selezionato sulla vita utile del rimorchio. Quest'ultima spesso conta per il 90% del totale risparmio ambientale per i veicoli.

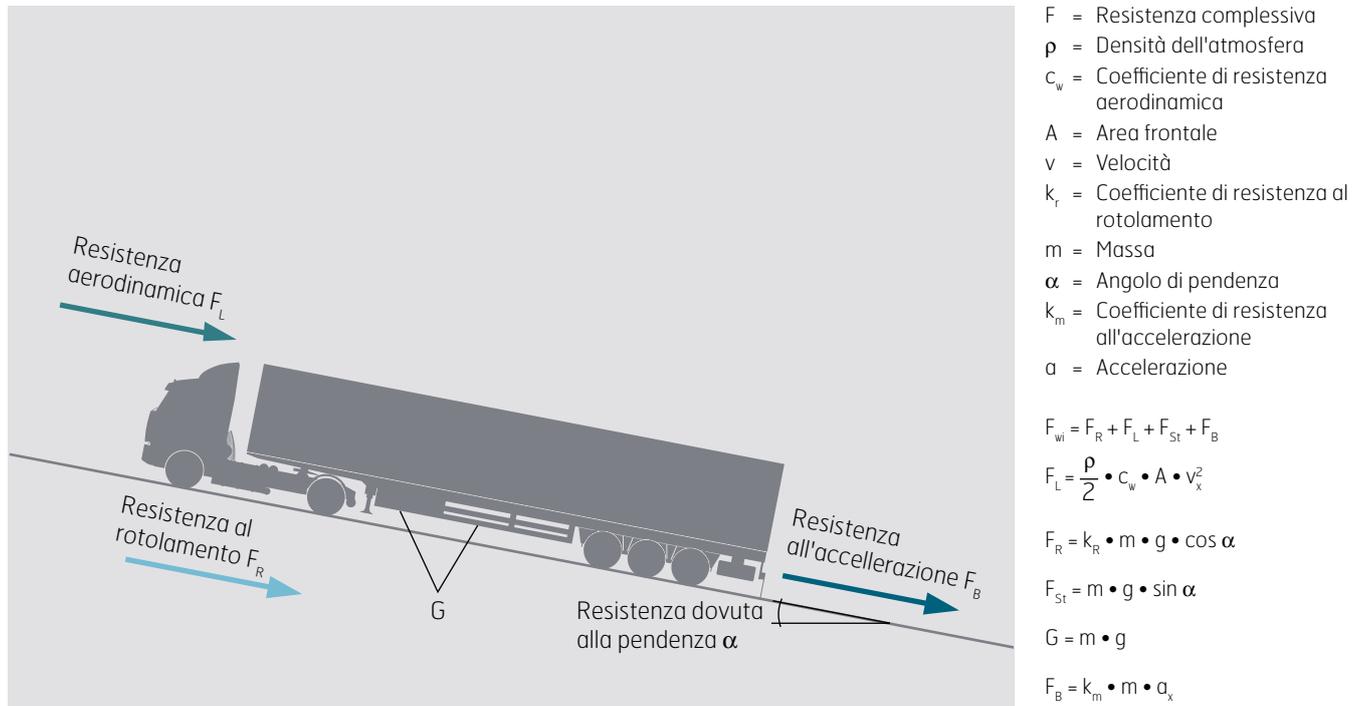
Durante l'analisi della vita utile in caso di volume di carico limitato, viene preso in considerazione il bilancio energetico del veicolo. Il consumo energetico di base dei mezzi su strada dipende da diversi fattori di resistenza che intervengono durante il loro funzionamento. Figura 2.

FIGURA 1 Confronto tra i costi di produzione di un telaio convenzionale e di un telaio alleggerito, considerando anche i costi del materiale.



Utilizzando il materiale più sottile si ottiene una riduzione dei costi nelle operazioni di saldatura e taglio e dal momento che viene consumato meno acciaio, si ridurrà anche il costo del materiale.

FIGURA 2 Panoramica dei fattori di resistenza che influenzano il consumo di carburante di ogni veicolo stradale.



Fatta eccezione per la resistenza aerodinamica, tutti i fattori di resistenza sono direttamente dipendenti dalla massa. La resistenza aerodinamica, tuttavia, dipende dalle dimensioni del mezzo e dalla velocità. Pertanto, oltre alla massa, anche velocità, accelerazione e pendenza (tratto collinoso o tratto piano) influiscono sul consumo energetico. Questi fattori sono altamente dipendenti dalla condizione di guida e dal relativo comportamento. Assumendo identica condizione di guida, la correlazione tra consumo energetico e peso del mezzo è diretta e il risparmio energetico corrispondente ad una specifica riduzione di peso è indipendente dal peso lordo del veicolo.

I mezzi rapidi a velocità costante avranno pertanto una elevata resistenza aerodinamica e una bassa resistenza all'accelerazione, e di conseguenza moderati risparmi energetici specifici grazie alla riduzione del peso. Contrariamente, i veicoli lenti interessati da frequenti frenate e accelerazioni avranno un elevato risparmio energetico grazie alla riduzione di peso.

SEMIRIMORCHI

I grandi semirimorchi sono i mezzi che vengono utilizzati prevalentemente nel trasporto stradale in Europa e negli Stati Uniti, nonché rappresentano una percentuale significativa del carburante utilizzato nel settore dei trasporti. Con la riduzione di peso si può ottenere un risparmio diretto o indiretto. Se il carico è limitato per volume, un mezzo più leggero utilizza meno energia per il trasporto delle merci mentre in caso di carico limitato per peso, può essere trasportato un carico maggiore.

VOLUME DI CARICO LIMITATO

In questo caso il risparmio di carburante derivante dalla riduzione di peso dipende enormemente dalla condizione di

guida, rappresentato nella Tabella 1, che mostra i valori tipici di consumo di carburante per semirimorchi in varie situazioni.

Se consideriamo un semirimorchio a cassone ribaltabile di 40 tonnellate, possiamo esemplificare l'influenza della riduzione del peso sulle emissioni nell'ambiente e sulle risorse energetiche primarie. Partiamo da un volume di carico limitato e dal fatto che questi tipi di veicoli viaggiano principalmente su autostrade e sulle principali strade extraurbane. Solitamente si stima un risparmio specifico di carburante pari a 0,055 l / 100 km per 100 kg di peso in meno. Nell'ambito della valutazione del ciclo di vita utile (LCA), la vita totale del rimorchio è fissata a 1,2 milioni di km.

PESO LIMITATO

Nel caso il peso del carico sia limitato, l'alleggerimento del veicolo permette di trasportare un carico maggiore e pertanto sono necessari meno veicoli per trasportare una certa quantità di merce. Il risparmio energetico per un carico limitato per peso è pertanto superiore di quello realizzabile con un volume di carico limitato. A titolo esemplificativo si calcola il risparmio di carburante e la riduzione delle emissioni di CO₂ per un rimorchio ribaltabile alleggerito. Il peso del veicolo è stato ridotto con il ricorso all'acciaio AHSS, con conseguente aumento di 1.839 kg della capacità di carico, tabella 2. Ipotizzando una vita utile di 1,2 milioni di km, si ha un risparmio di 2.210.000 t-km, equivalente a 76.550 km-veicolo per un veicolo a pieno carico. Ipotizzando un consumo di carburante di 40 l / 100 km, il risparmio nell'arco del ciclo vita sarà di 30.620 litri di diesel, 81,4 tonnellate di emissioni di CO₂ e 316 MWh di energia primaria per veicolo.

TABELLA 1 Consumo di carburante per semirimorchi tipici in diverse condizioni di guida e risparmio di carburante ottenibile con l'alleggerimento del veicolo ottenuto riducendo il peso del mezzo.

Fattori di carico	Peso totale (tonnellate)	Autostrada (litri/100 km)		Strada extraurbana principale (litri/100 km)		Strade urbane (litri/100 km)	
		Gabi ¹	NTM ²	Gabi ¹	NTM ²	Gabi ¹	NTM ²
A vuoto (0 %)	14	23,6	22,6	22,7	23,0	35,4	28,8
A pieno carico (100 %)	40	37,8	36,0	41,4	39,6	64,4	50,4
Risparmio specifico in FC per una riduzione di peso, (litro/(100 km*100 kg WR)).		0,052	0,049	0,069	0,061	0,107	0,080

1) Software Gabi LCA e database PE International, Leifelden-Echterdingen, Germania.

2) Dati ambientali NTM per Cargo Road Transport Europe internazionale, preliminare, documento di lavoro soggetto ad aggiornamento, versione 22/12/2009 Network for Transport and the Environment, NTM, Svezia

TABELLA 2 Esempio di miglioramento di un semirimorchio con cassone ribaltabile.

Peso e riduzione del peso dovuti al passaggio da acciaio S 355 a Strenx 700 MC									
Dettaglio	Originale (kg)	Migliorato (kg)	WR (kg)	WR (%)	R-CO ₂ Prod acciaio (kg)	R-FC [l/100km]	R-CO ₂ Funzionamento [kg/100km]	R-CO ₂ Vita utile 1,2x106 km [kg]	R-Energy Vita utile 1,2x106 km [kWh]
Telaio del rimorchio	1.109	676	433	39,0					
Ulteriori parti del telaio	400	344	56	14,0					
Assali, ruote, freni, comparto elettrico, ecc.	4.000	4.000	0	0					
Totale semirimorchio*	5.509	5.020	489	8,9	710	0,27	0,72	9290	36.570
Peso del cassone ribaltabile	6.500	5.150	1.350	20,8					
Totale cassone ribaltabile del semirimorchio - vuoto*	12.009	10.170	1.839	15,3	3.200	1,01	2,69	32.550	140.000
Carico	26.991	28.830	+1.839	+6,8					
Totale cassone ribaltabile del semirimorchio - carico**	39.000	39.000	-	-	3.200	0	0	84.650	330.730

WR = riduzione di peso, R-CO₂ = riduzione di CO₂, R-FC=riduzione del consumo di carburante, R-Energy= riduzione del consumo di energia primaria.

* I parametri ambientali si riferiscono al volume di carico limitato.

** I parametri ambientali si riferiscono al peso del carico limitato con un fattore di carico pari al 100%.

PROGETTAZIONE

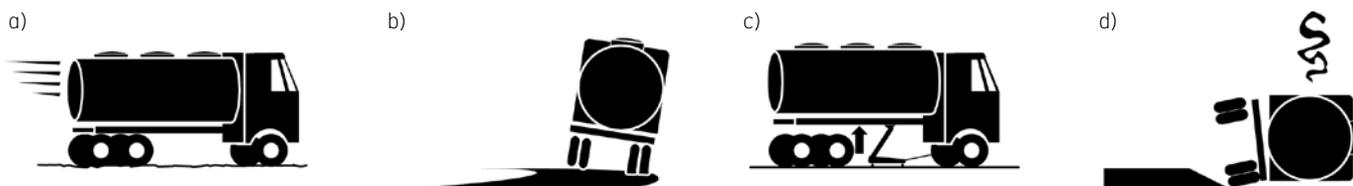
La progettazione di un rimorchio è spesso il risultato dell'unione tra l'esperienza e le conoscenze acquisite nel corso degli anni dalle aziende produttrici e il know-how degli utenti finali. In generale, l'applicazione di buone soluzioni si estende anche ai mezzi leggeri prodotti con tipi di acciaio altoresistenziale. Tuttavia, pur permettendo nuove soluzioni, l'acciaio AHSS richiede modifiche di progettazione al fine di trarre i benefici dati dalla maggiore resistenza.

Un comune telaio di rimorchio si compone di due travi longitudinali principali prodotte o da profili laminati a caldo standardizzati o da travi a doppia "T" saldate e un numero di traverse. Per le traverse possono essere ideate soluzioni con profili aperti, tubi o profili rettangolari. A seconda del tipo di rimorchio, al telaio possono essere anche attaccate solette e diversi profili di supporto. La zona del perno di articolazione del rimorchio è generalmente composta dalla relativa lastra e da alcuni profili di rinforzo.

Generalmente, il potenziale di miglioramento di un telaio per rimorchio non è limitato solo dalla capacità statica di trasporto del carico, ma anche da problemi di fatica e stabilità. Pertanto, trovare una soluzione che integri la capacità di trasporto del carico al progetto preesistente costituisce un buon punto di partenza, ma è essenziale prendere in considerazione anche questi altri aspetti tecnici per garantire prestazioni del mezzo equivalenti o migliori. È importante sottolineare che una progettazione e un processo produttivo non all'avanguardia riducono il potenziale di miglioramento.

Nel caso di un telaio per rimorchio realizzato in acciaio tradizionale, la condizione di carico di dimensionamento coincide generalmente con la capacità di trasporto del carico in rapporto alle deformazioni permanenti (figura 3). In un telaio per rimorchio leggero in cui è stato ridotto lo spessore e aumentato il livello di sollecitazione da lavoro, la capacità di carico e la vita utile sono limitate da fatica, deflessioni elastiche e stabilità.

FIGURA 3 Rimorchi sottoposti a diverse condizioni di carico durante il funzionamento.



Per ottenere un miglioramento di successo è importante prendere in considerazione tutte le condizioni di carico: a) fatica a cicli di carico frequenti a bassa sollecitazione; b) deformazioni elastiche durante il funzionamento; c) capacità di trasporto del peso senza alcuna deformazione permanente in condizione di carico massimo; d) stabilità durante il funzionamento.

MIGLIORAMENTO TIPICO

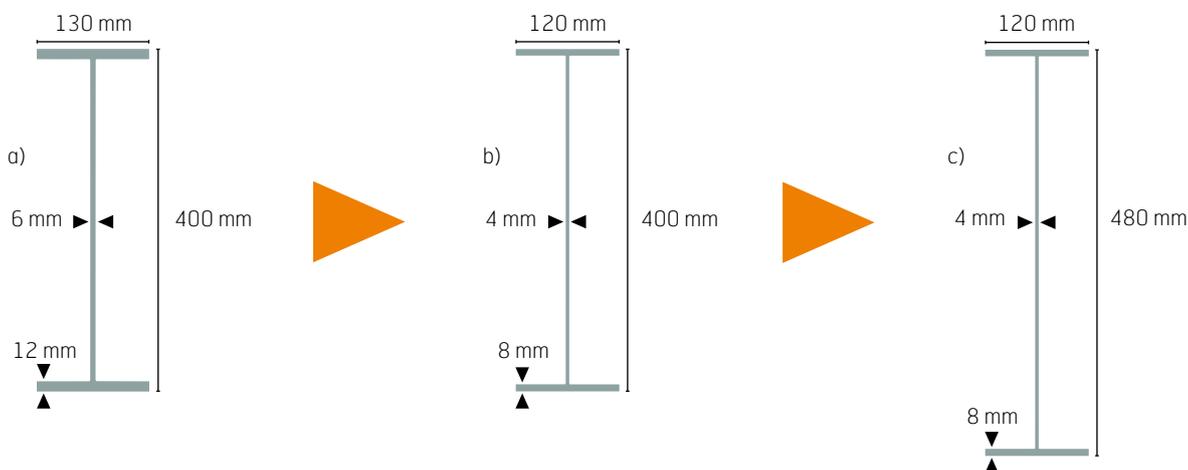
Strenx 700 MC viene comunemente utilizzato per alleggerire il telaio dei rimorchi. Un telaio per rimorchio in acciaio 350 successivamente migliorato in Strenx 700 MC genera una riduzione peso pari a circa il 30% per le parti strutturali del telaio, ma a seconda del progetto la riduzione può persino essere maggiore e raggiungere il 50%. A titolo esemplificativo si è presa una trave principale per rimorchio preesistente lunga 13,75 m e si è proceduto a sostituire l'acciaio 350 di cui è composta con acciaio Strenx 700 MC. Successivamente, è stata determinata la capacità di carico per il progetto preesistente e proposta un'alternativa equivalente con acciaio Strenx 700 MC, figura 4.

Il peso complessivo dei principali elementi originali prodotti in acciaio convenzionale è pari a 1.085 kg, mentre la controparte in Strenx 700 MC è pari a 704 kg. Ne consegue una riduzione di peso pari a 381 kg o il 35,2%. Questi risultati sono da considerarsi a titolo esemplificativo. A seconda del tipo di veicolo, dei requisiti specifici e dei dettagli di progettazione, il potenziale di miglioramento può essere minore o maggiore se confrontato con l'esempio precedente. I calcoli considera-

no esclusivamente la capacità di trasporto del carico statico, ma funge da buon punto di partenza per la progettazione di telaio alleggerito.

Per le travi principali di un telaio per rimorchio progettato in via convenzionale, esistono alcune limitazioni se si intende sfruttare una resistenza più elevata di quella offerta da Strenx 700 MC ai fini di resistenza strutturale. Per beneficiare appieno della più elevata resistenza è necessario considerare altri punti relativi al telaio. Per alcuni rimorchi speciali, tuttavia, la scelta di qualità di acciaio superiori come Strenx 960 può rivelarsi appropriata. Per flange o profili soggetti a usura o deformazione plastica, quali paraurti e deflettore, può essere utilizzato un acciaio più resistente come Strenx 1100 oppure un acciaio antiusura come Hardox 450. Per le altre parti del telaio, come ad esempio gli elementi del piano, tipologie di acciaio laminato a freddo quali ad esempio Strenx 700 CR e Strenx 960 CR offrono grandi opportunità per una significativa riduzione del peso. Queste parti possono essere prodotte mediante piega e, per grandi serie, profilatura o stampaggio.

FIGURA 4 Soluzioni leggere per armonizzare la capacità di carico e la rigidezza a flessione.



Panoramica sulle proprietà delle sezioni trasversali e sul potenziale di riduzione del peso di una trave principale convenzionale a) e su versioni leggere migliorate b) e c) in Strenx 700 MC.

	Progetto originale a)	Progetto alleggerito b)	Progetto alleggerito c)
Qualità dell'acciaio	S355	Strenx 700 MC	Strenx 700 MC
Peso, m [kg / m]	42	27	30
Capacità di momento flettente, M [kNm]	286	306	369
Momento di inerzia, I [m ⁴]	140 E-06	93E-06	140E-06
Modulo di sezione, W [m ³]	72E-05	46E-05	58E-05
Riduzione di peso, WR [%]	-	36	30

RIGIDEZZA A FLESSIONE

La rigidezza a flessione in senso verticale viene spesso delineata come un aspetto critico nel caso di rimorchi più leggeri realizzati in acciaio altoresistenziale. In alcuni mercati le deflessioni elastiche dei veicoli sono regolate in rapporto all'altezza libera dal suolo, ma nella maggior parte dei casi le restrizioni sulle deflessioni sono questione di funzionalità. Ciò significa che le deflessioni del telaio del rimorchio non dovrebbero costituire problema per l'apertura e la chiusura delle porte e che, ovviamente, in situazioni di carico dovrebbe esserci sufficiente spazio tra il camion e il rimorchio nell'area della ralla. Per alcuni rimorchi speciali (per esempio rimorchi a telaio ribassato) i requisiti riguardanti le deflessioni elastiche possono limitare la scelta del materiale.

Dal momento che tutte le classi di acciaio seguono lo stesso modulo di Young, la rigidezza a flessione è regolata dalla forma geometrica. Ciò significa che riducendo semplicemente lo spessore delle lamiere di cui sono composti i profili si otterrà una minor rigidezza a flessione in caso di identica forma geometrica esterna. Per il telaio di un rimorchio, la rigidezza a flessione in senso verticale è regolata dalla forma geometrica dei longheroni. Se la riduzione in termini di resistenza costituisse un problema, è possibile ottenere un miglioramento aumentando l'altezza delle anime.

L'aumento dell'altezza della trave è il modo più efficace per incrementare la rigidezza a flessione. Tuttavia, nelle zone in cui l'altezza della trave è limitata, la rigidezza a flessione può essere migliorata incrementando la larghezza della flangia, figura 5. Questa misura può essere intrapresa anche in aree critiche al fine di ridurre il livello di sollecitazione da lavoro e migliorare la resistenza sui lati delle travi. Mediante le tecniche di produzione moderne, la larghezza della flangia può essere su misura lungo la trave e in base alla distribuzione del carico. Ciò nonostante, il minor spessore della flangia permette un aumento di larghezza solo fino a un certo punto, onde evitare che sulla parte compressa la flangia sia troppo libera e che si verifichino localmente episodi di imbozzamento in grado di limitare l'utilizzo materiale della flangia. Nel caso la trave del rimorchio preesistente sia già molto alta, l'imbozzamento da taglio del corpo libero può ridurre la possibilità di aumentare l'altezza e di ridurre lo spessore del corpo. L'instabilità e i metodi di calcolo vengono descritti più approfonditamente nel Manuale lamiere di acciaio SSAB¹.

STABILITÀ

La stabilità dell'intero veicolo che circola su strade o, nel caso di rimorchi ribaltabili, in una situazione di scarico dipende da una serie di fattori differenti, tra cui la rigidezza a torsione del telaio. Per rimorchi a cassone ribaltabile e per altri rimorchi in cui sono presenti carichi torcenti significativi, un eventuale miglioramento del telaio richiede di considerare questo parametro. La rigidezza a torsione di un telaio è regolata dal progetto e dalla posizione degli elementi trasversali, nonché dalla presenza di crociere. Ridurre lo spessore del corpo delle travi principali del telaio avrà un effetto molto limitato, mentre ridurre lo spessore degli elementi trasversali influirà significativamente sulla rigidezza a torsione del telaio. Al fine di evitare problemi di stabilità, è possibile apportare modifiche al progetto per ottenere una rigidità a torsione equivalente o persino migliore rispetto al progetto originario.

Introducendo profili a sezioni trasversali chiuse si aumenta in maniera significativa la rigidezza a torsione degli elementi trasversali, figura 6. Per uno sfruttamento ottimale del materiale è altresì importante la posizione di tali elementi. La ridistribuzione o l'introduzione di uno o due elementi aggiuntivi influisce sulla globale rigidezza a torsione. In generale, gli elementi trasversali andrebbero centrati verso la parte posteriore del telaio. Tuttavia, tale spostamento è stato sfruttato molte volte e muovendo gli elementi trasversali in avanti o introducendo un elemento aggiuntivo in una zona strategica della parte anteriore si migliorerà in maniera significativa il comportamento generale. Poiché una piccola rotazione nella parte anteriore comporta grosse traslazioni nella parte posteriore, un aumento della rigidezza a torsione nella parte anteriore potrebbe migliorare le prestazioni complessive.

Un altro metodo efficace consiste nell'introdurre una crociera composta di due correnti diagonali. Per sfruttare al meglio il materiale di ogni corrente è importante che esse siano progettate in modo tale che l'una sia sollecitata esclusivamente a trazione mentre l'altra possa subire imbozzamento. Da qui si deduce che le correnti dovrebbero essere libere e non saldate reciprocamente al centro. Per illustrare l'effetto di queste misure, si esegue un confronto tra gli angoli di torsione corrispondenti al momento torcente applicato alla parte posteriore di un comune rimorchio a cassone ribaltabile. I risultati dei calcoli rappresentano un caso unico, ma illustrano chiaramente l'impatto di queste misure sulla rigidezza del telaio alla torsione. In tutti i casi considerati si è mantenuta costante la massa complessiva degli elementi trasversali. Ciò significa che, nel caso in cui sono state utilizzate sezioni trasversali chiuse, lo spessore dei profili è stato ridotto. I risultati mostrano che ridurre lo spessore del corpo comporta una rigidezza a torsione leggermente ridotta se confrontata col progetto originario. Al contrario, introdurre elementi trasversali chiusi o una doppia crociera migliora significativamente la rigidezza.

1. SSAB Sheet Steel Handbook, ISBN 978-91-978573-1-4.

FIGURA 5 È consigliabile un'ampiezza variabile della flangia per migliorare la resistenza alla flessione e la rigidezza a flessione nelle aree critiche.

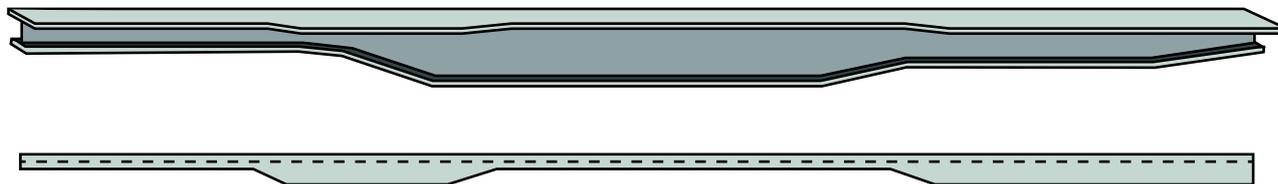
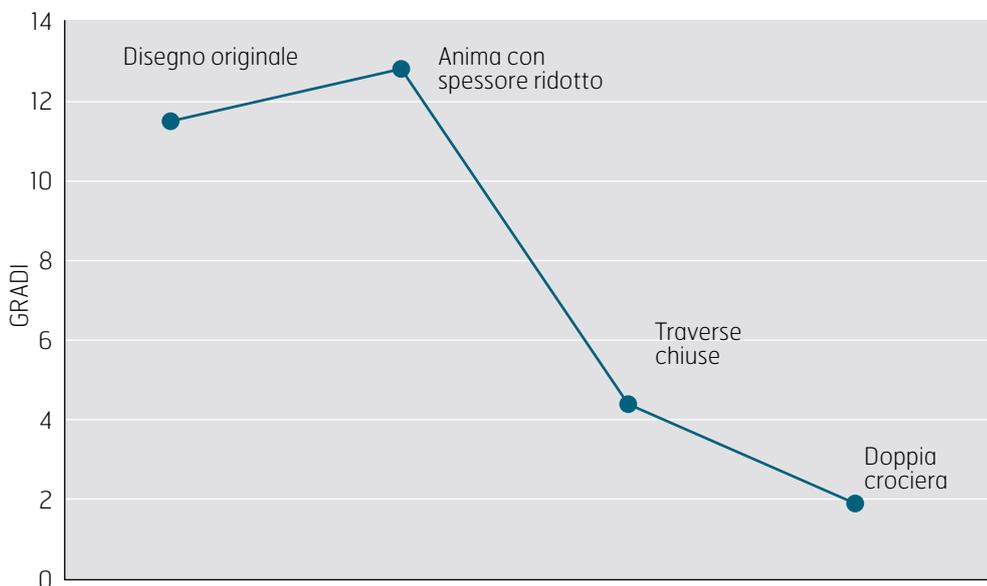


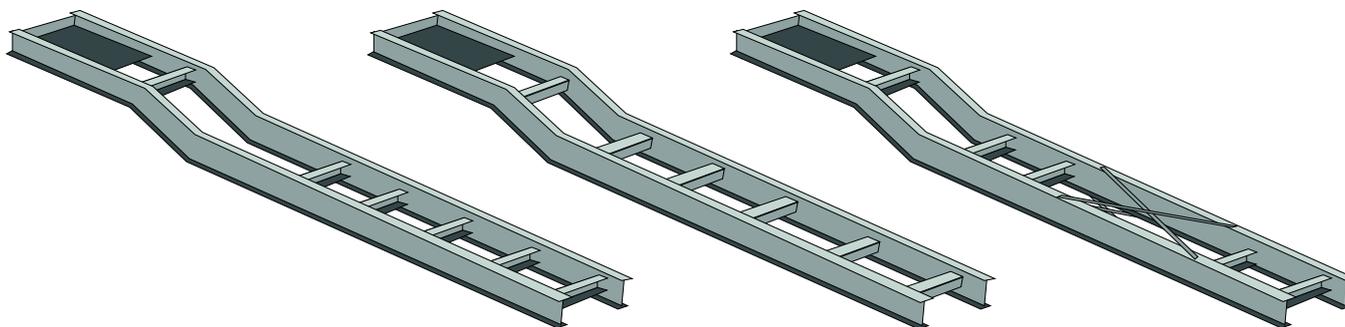
FIGURA 6 Confronto della resistenza alla torsione di un telaio per rimorchio dotato di elementi trasversali aperti con soluzioni dotate di profili di elementi trasversali chiusi e traversine.



Progetto originale

Traverse chiuse

Doppia crociera



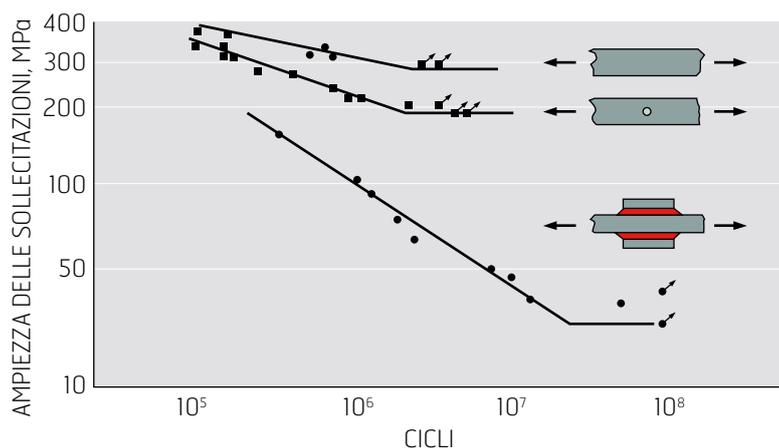
FATICA

Tutti i rimorchi sono sottoposti a carichi di fatica durante le fasi di movimento e carico. La storia di carico che determina la vita utile di un telaio per rimorchio si basa sui carichi diversi per numero e consistenza. A seconda del tipo di rimorchio, delle condizioni stradali e della condizione di carico varierà lo spettro. Migliorando il telaio del rimorchio tramite acciaio AHSS si riduce solitamente lo spessore delle lamiere delle parti strutturali. Ridurre lo spessore delle lamiere aumenterà il livello di sollecitazione nell'intero telaio. Un materiale più resistente comporta una maggiore resistenza alla fatica rispetto al materiale di base. Nel caso dei giunti saldati, tuttavia, ciò risulta limitato dalla concentrazione della sollecitazione e dalle imperfezioni iniziali introdotte in fase di saldatura. Da qui si deduce che la resistenza alla fatica dei giunti saldati è più una questione di progettazione e produzione che non di scelta dei materiali. Impiegando la stessa geometria del giunto saldato e la stessa qualità della saldatura, il telaio avrà una minore resistenza alla fatica.

RESISTENZA ALLA FATICA

La resistenza a fatica di un materiale viene illustrata tramite curve di Wöhler derivanti da prove di fatica eseguite su campioni con storia di carico di ampiezza costante. In altre parole, un campione viene ripetutamente sottoposto allo stesso ciclo di sollecitazioni fino alla sua rottura. Dopo aver testato diversi campioni a diversi livelli di carico è possibile delineare una curva di Wöhler. Sulla parte in alto a sinistra delle curve riportate alla fig. 7 la resistenza alla fatica dipende dalle proprietà statiche del materiale. Sulla parte in basso a destra della stessa figura 7 la resistenza alla fatica dipende dalle discontinuità nel campione. Per discontinuità si intendono per esempio la rugosità superficiale dovuta alla laminazione, alla rifilatura dei bordi o a fori, incisioni e saldature. Vengono menzionati in ordine decrescente rispetto alla resistenza a fatica.

FIGURA 7 Curve di Wöhler relative a campioni di lamiera, con foro punzonato o giunto saldato.



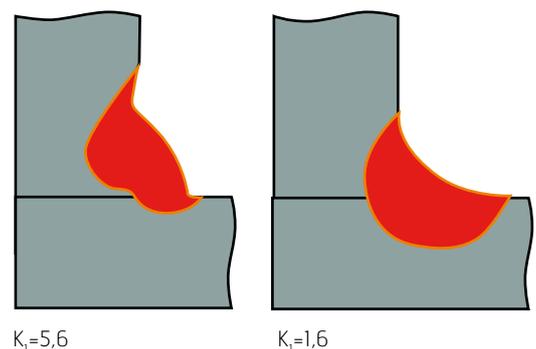
PERCHÉ IL GIUNTO SALDATO COSTITUISCE UN'AREA CRITICA?

I giunti saldati hanno resistenza alla fatica sensibilmente ridotta rispetto al materiale di base a causa delle discontinuità geometriche del giunto saldato e alle sollecitazioni residue introdotte dalla fonte di calore durante la saldatura. La resistenza a fatica delle parti saldate è generalmente discussa in rapporto a microstrutture, zone soggette al calore e durezza, ma la maggior causa di debolezza del punto saldato risiede nella concentrazione locale delle sollecitazioni e nei difetti. Tutti i metodi di post-trattamento delle parti saldate si concentrano sulla riduzione delle sollecitazioni residue e sul miglioramento della geometria del giunto saldato. Per ottenere una buona resistenza alla fatica è importante avere un raggio e un angolo di transizione omogenei sull'estremità del giunto saldato, figura 8.

POSIZIONI DI INIZIO E FINE SALDATURA

Nell'ambito della fatica, le posizioni di inizio e fine saldatura costituiscono la parte più critica di un punto saldato. Poiché il processo di saldatura non avviene in maniera costante, il rischio di generare difetti e porosità in queste posizioni è maggiore. Pertanto, a causa della loro lunghezza limitata, le puntature hanno una resistenza alla fatica inferiore rispetto alle saldature continue. La puntatura dei longheroni dovrebbe essere ridotta al minimo e le puntature posizionate nelle aree soggette a bassa sollecitazione. Il punto saldato tra la flangia superiore e il corpo è meno sensibile alla puntatura, poiché tale parte è soggetta a sollecitazioni di compressione. È importante progettare giunti saldati in generale per permettere alla posizione di inizio e fine saldatura del punto saldato di essere posizionata in aree soggette a bassa sollecitazione. In alcuni casi è possibile ricorrere alla finitura del cordone di saldatura in "baffi" o "virgole" per spostare le posizioni di inizio e fine saldatura dall'area maggiormente soggetta a sollecitazione, come per esempio all'estremità di una piastra di rinforzo, figura 9.

FIGURA 8 Discontinuità geometriche



CARICO DI FATICA TRASVERSALE VS CARICO DI FATICA LONGITUDINALE DI UN GIUNTO SALDATO.

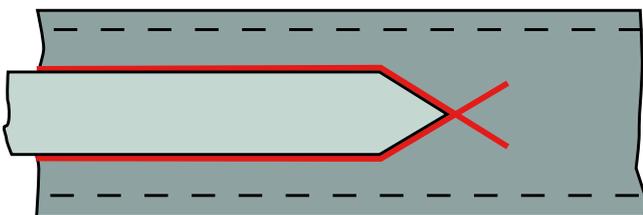
Le discontinuità in un punto saldato sono orientate in direzione della saldatura. Se le discontinuità sono parallele alla direzione principale di sollecitazione, le stesse hanno poco impatto sulla resistenza alla fatica del punto saldato. Al contrario, se le sollecitazioni sono trasversali rispetto alla direzione del punto saldato, la resistenza alla fatica del punto sarà molto bassa. Ad esempio, la resistenza alla fatica di una staffa di collegamento saldata alla flangia inferiore ha meno del 5 % di resistenza alla fatica del punto saldato tra corpo e flangia.

STORIA DI CARICO

La storia di carico dei rimorchi è irregolare e casuale per natura, e il numero totale dei cicli di carico durante la loro vita utile risiede tra i 10^8 e i 10^9 cicli. Anche se la maggior parte dei cicli di carico hanno dimensioni molto piccole, la loro combinazione con carichi più consistenti li rende potenzialmente critici in termini di fatica. In altre parole, tali carichi consistenti possono essere intesi come inneschi di cricca, mentre i piccoli carichi come propagatori di cricca. Per via di questi effetti combinati, il limite di fatica rilevato in carichi di dimensione costante svanisce quando si tratta di rimorchi. La sola eccezione si riscontra quando tutti i carichi nell'intera storia sono inferiori al limite di fatica. Pertanto, nelle zone soggette a elevata sollecitazione è importante che il giunto saldato abbia una buona resistenza alla fatica, come i giunti saldati soggetti a carico nel senso della lunghezza. I giunti saldati aventi minor resistenza alla fatica andrebbero posizionati in zone soggette a bassa sollecitazione, per esempio accanto allo strato neutro del corpo delle travi centrali.

Si può utilizzare a titolo esemplificativo un confronto con un progetto alternativo di una staffa di collegamento saldata su una trave soggetta verticalmente a flessione. Le massime sollecitazioni si verificano sulle flange della trave quando sono caricate in situazione di flessione generale e varia in ter-

FIGURA 9 È consigliabile eseguire “baffi” o “virgole” per spostare le posizioni di inizio e fine saldatura di un punto saldato da un'area soggetta a forte sollecitazione.



mini di compressione e tensione sull'asse neutro. Nel progetto riportato nella parte alta (a) della fig. 10, la staffa di collegamento è saldata accanto alle flange e le posizioni di inizio e fine saldatura del punto saldato è localizzato nella zona della sezione trasversale della trave maggiormente soggetta a sollecitazione. Nella configurazione riportata nella parte bassa (b) della fig. 10, la staffa di collegamento è stata riprogettata per essere saldata a tappo sullo strato neutro. Da ciò deriva una riduzione del livello di sollecitazione sul giunto saldato pari al 50%. Tale riduzione aumenta la resistenza alla fatica di 8 volte rispetto al progetto precedente.

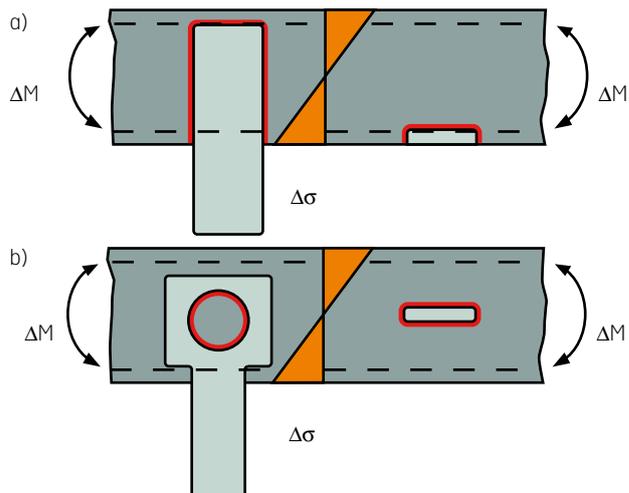
PROBLEMATICHE COMUNI

L'upgrade dall'acciaio tradizionale a quello AHSS per lo sviluppo di soluzioni leggere comporta in genere alcuni ostacoli facilmente superabili. Il primo e più importante consiglio di progettazione è quello di mantenere le cose semplici. Ridurre al minimo il numero di particolari, ricorrere a moderne tecniche di produzione per integrare i componenti e ridurre al minimo il numero di giunti saldati. Per i longheroni del telaio si raccomanda di realizzare le flange in un pezzo unico e che l'anima del longherone copra l'intera lunghezza del rimorchio. Questa soluzione riduce il numero di saldature, in particolare di quelle trasversali, determinando un aumento della resistenza alla fatica.

Le piastre di rinforzo per longheroni e flange servono generalmente ad aumentare la capacità di carico del telaio. Dal punto di vista delle sollecitazioni statiche, si può trarre vantaggio da questi rinforzi. Tuttavia dal punto di vista della fatica, ossia le sollecitazioni cicliche, questi rinforzi creano problemi superiori ai potenziali benefici.

In un longherone principale costruito in pezzo unico per tutta la lunghezza, senza piastre di rinforzo, la resistenza alla fatica è determinata dalla saldatura longitudinale del longherone a doppia T. A rimorchio carico, la flangia inferiore subirà sollecitazioni da trazione in senso longitudinale, proprio lungo

FIGURA 10 Riprogettando i giunti saldati da posizionare nelle aree a bassa sollecitazione, si ottiene una migliore resistenza a fatica.



la linea di saldatura. Saldando una piastra di rinforzo sulla flangia inferiore si determinerà un carico trasversale sul giunto saldato con conseguente riduzione della resistenza a fatica di almeno 8 volte, Figura 11.

Una piastra di rinforzo nell'anima o nella flangia del longherone determina anch'essa un concentrarsi delle sollecitazioni sul giunto saldato, con un certo gradiente di rigidità nell'area interessata. Il giunto saldato costituirà pertanto un limite per la resistenza a fatica del telaio e in presenza di sollecitazioni maggiori ciò potrà provocare l'innesco di cricche.

COLLEGAMENTO DEI SOLLEVATORI

Una delle aree più critiche del telaio di un rimorchio è la zona del collo di cigno, dove la transizione in altezza e relativa variazione del momento di inerzia genera forti sollecitazioni. Ciò generalmente non costituisce un problema per la capacità di carico statica del rimorchio, tuttavia è necessaria grande attenzione nella progettazione delle strutture secondarie dell'area, quali l'attacco dei sollevatori.

Se l'attacco dei sollevatori richiede la realizzazione di un giunto da saldare alle flange, il giunto saldato sarà l'area della sezione del longherone che subirà le sollecitazioni maggiori. Un'adeguata riprogettazione dell'accoppiamento consente di spostare il giunto saldato in un'area soggetta a sollecitazioni minori, figura 12. In questo modo si aumenterà notevolmente la resistenza a fatica del giunto saldato, come da Esempio A.

FIGURA 11 Le piastre di rinforzo saldate alla flangia inferiore ridurranno rapidamente la resistenza alla fatica.

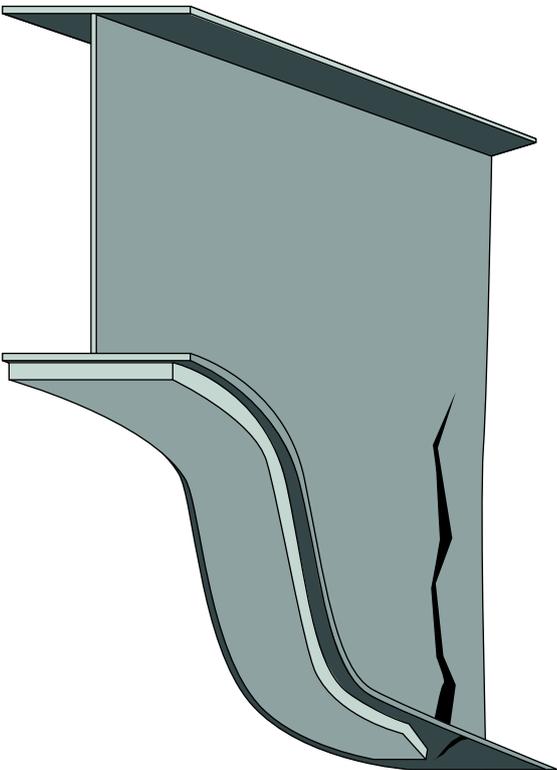
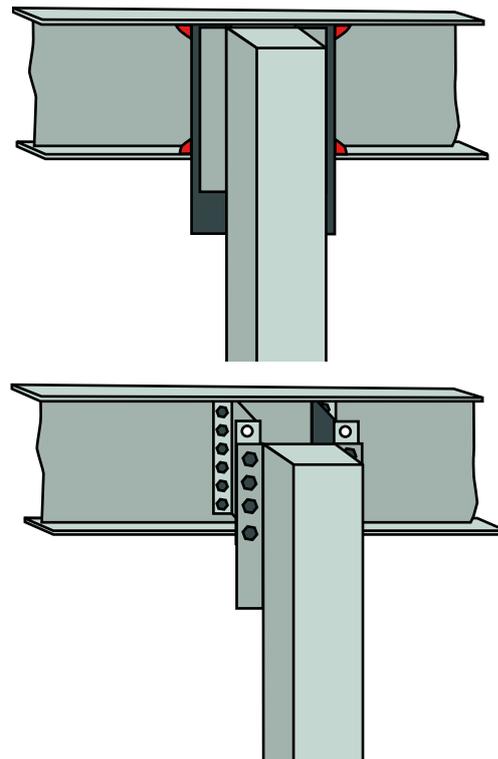


FIGURA 12 Per migliorare la resistenza alla fatica dell'attacco del sollevatore, il collegamento andrebbe posizionato accanto all'asse neutro della trave principale. Una giunzione bullonata migliorerà sensibilmente la resistenza a fatica.



ESEMPIO - A

In un telaio per rimorchio convenzionale, la progettazione abituale prevede che il sollevatore sia saldato a una piastra di rinforzo collegata alla flangia inferiore nella zona del collo del rimorchio, Figura 13. Dal punto di vista della fatica, tale giunto saldato tra il sollevatore e la piastra di rinforzo risulta posizionato in una zona critica. Lo sviluppo di un telaio per rimorchi leggeri e la riduzione degli spessori incrementerà il livello di sollecitazione da lavoro. Nel caso in cui non si proceda a nuova geometria, per tale giunto saldato ciò comporterà una ridotta resistenza alla fatica. Questo esempio mostra come una riprogettazione della staffa di collegamento influisca sulla resistenza alla fatica.

I calcoli vengono eseguiti su una trave principale convenzionale prodotta in acciaio dolce (a) e su una versione migliorata in acciaio AHSS (b) come da figura 14. La resistenza alla fatica di tale giunto saldato nel telaio per rimorchi convenzionale si ritiene pari a 16 anni. Si ritiene inoltre che nel progetto migliorato la staffa di collegamento sia saldata direttamente sulla flangia inferiore senza alcuna piastra di rinforzo. La sollecitazione nominale dovuta alla flessione di una trave è data da

$$\sigma = \frac{M_B}{W}$$

Il secondo momento di inerzia, I , e il modulo di sezione, W , vengono stabiliti mediante il teorema di Steiner o un software CAD. In quanto tale, la sollecitazione sul giunto saldato in entrambe le versioni può essere stabilito in base a

$$\sigma_b = \frac{M_B}{W_b}, \quad \sigma_a = \frac{M_B}{W_a}, \quad \sigma_b = \frac{\sigma_a W_a}{W_b} = \frac{\sigma_a \cdot 685\,000}{348\,000} = \sigma_a \cdot 2$$

Ciò evidenzia che il livello di sollecitazione sul giunto saldato critico è pari a 100 MPa nel telaio convenzionale. Sarà $100 \cdot 2 = 200$ MPa nel telaio migliorato. La resistenza alla fatica di un giunto saldato ha un rapporto di 3 a 1 con la gamma di sollecitazione applicata; da ciò deriva che la resistenza alla fatica del giunto saldato critico nel rimorchio migliorato sarà ridotto di

$$\left(\frac{\sigma_b}{\sigma_a}\right)^3 = 2^3 = 8$$

Ciò significa che la resistenza alla fatica del giunto saldato critico nel progetto migliorato sarà ridotto da 16 anni a $\frac{16}{8} = 2$ anni!

Riprogettando il giunto saldato come da fig. 10 del paragrafo precedente e rimuovendo il giunto saldato critico, il giunto saldato longitudinale tra la flangia e il corpo diventa un fattore determinante dal punto di vista della fatica. La resistenza di un giunto saldato longitudinale è di molto superiore a quella di un punto trasversale. Confrontando la resistenza alla fatica di questi punti scopriamo che il giunto saldato critico nella zona del collegamento possiede una resistenza alla fatica caratteristica FAT pari a 63 MPa, sebbene il punto longitudinale si assesta a 125 MPa, Figura 15. Ciò significa che il giunto saldato longitudinale può sopportare il doppio della sollecitazione rispetto a un punto trasversale.

Quindi, sebbene le sollecitazioni da lavoro siano state aumentate del doppio nella trave a doppia T migliorata, attraverso una semplice riprogettazione la resistenza alla fatica del giunto saldato è stato aumentato del doppio. Da qui si deduce che in termini di resistenza alla fatica siamo rimasti fedeli al progetto originario.

FIGURA 13 Collegamento del sollevatore tramite una piastra di rinforzo saldata sulla flangia del longherone principale del rimorchio.

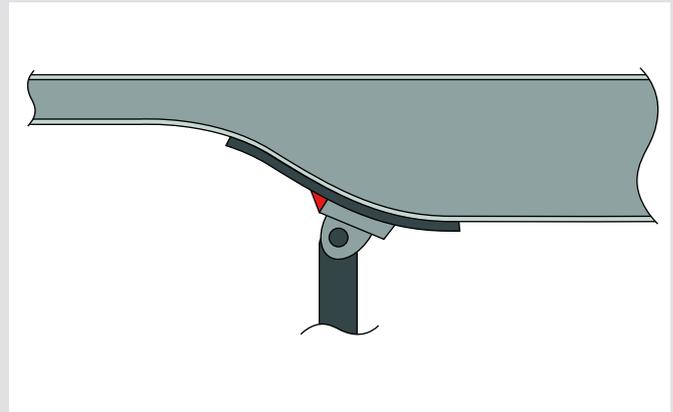


FIGURA 14 Forma geometrica e proprietà trasversali dei longheroni convenzionali a) e migliorati b) comprese nei calcoli.

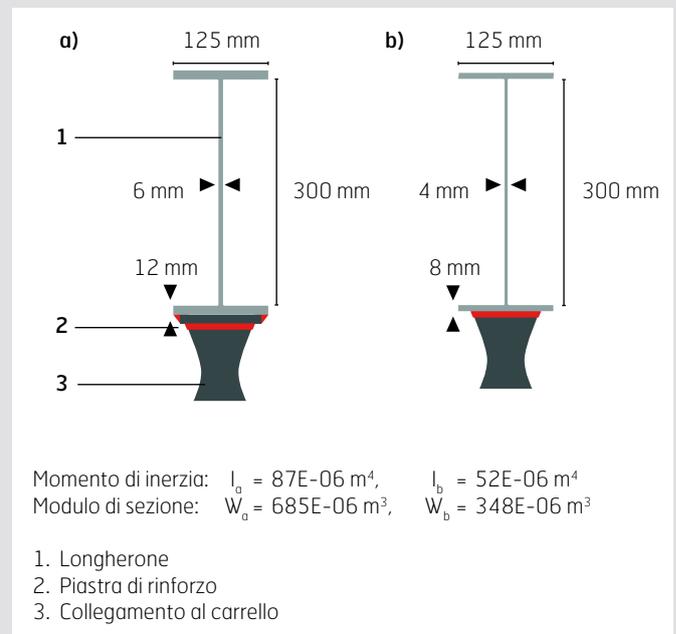
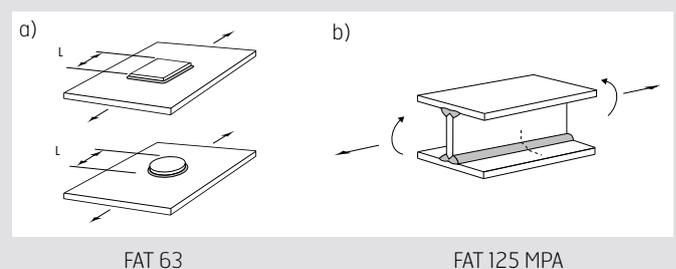


FIGURA 15 Resistenza alla fatica caratteristica (FAT) di giunti saldati sottoposti a carico trasversale a) e longitudinale b)





COLLEGAMENTO AL PRIMO ASSE POSTERIORE

Come il collo di cigno, anche la zona del supporto di sospensione è un'area critica nei rimorchi. Oltre alla flessione laterale, la zona è soggetta a carichi laterali. Pertanto è importante evitare saldature sui bordi delle flange, che sono soggette a forti sollecitazioni.

Per ridurre il gradiente di rigidità tra il supporto di sospensione e la flangia inferiore è utile saldare il supporto su una piastra d'accoppiamento. È importante che la piastra sia di spessore sufficiente e che le saldature tra questa e la flangia siano a una distanza minima di 20 mm dal bordo della flangia. Per aumentare la resistenza al momento flettente e l'area d'attacco dei supporti di sospensione si può variare la larghezza delle flange. Per migliorare ulteriormente la resistenza alla fatica, si può concepire il supporto di sospensione come una giunzione bullonata, figura 16.

Si possono posizionare degli elementi d'irrigidimento per l'anima del longherone, allineati alla direzione di carico dai supporti di sospensione. Un elemento di irrigidimento posto a una certa distanza dal supporto di sospensione causerà un'ulteriore flessione della flangia inferiore e ridurrà significativamente la resistenza alla fatica.

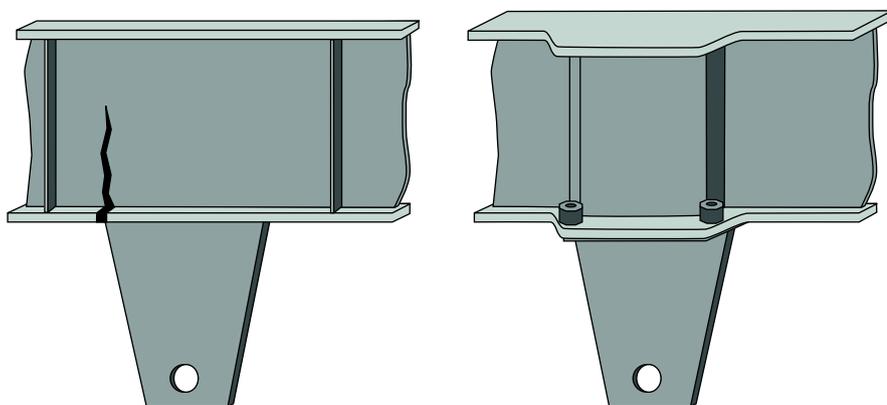
COLLEGAMENTO ALLE TRAVERSE

Per rimorchi il cui telaio sia soggetto a carichi torcenti, per esempio rimorchi ribaltabili e per il trasporto di legname, si raccomanda fortemente l'utilizzo di profilati a sezione chiusa per le traverse. Nella maggior parte dei casi tale soluzione consente di saldare le traverse direttamente all'anima del longherone senza bisogno di ulteriori rinforzi. Nei veicoli pesanti è possibile integrare nell'accoppiamento delle traverse un elemento di rinforzo per aumentare la rigidità e ridurre il livello di sollecitazione dell'area, Figura 17.

I profilati a sezione aperta possono essere utilizzati nei rimorchi le cui traverse siano soggette prevalentemente a flessione, p.e. centinati, portacontainer e furgoni. Si possono praticare aperture per il collegamento dei singoli profilati e saldarli alla piastra che costituisce l'anima del longherone longitudinale. Si noti, tuttavia, che non si raccomanda l'utilizzo di profilati a sezione aperta in telai soggetti a carichi torcenti.

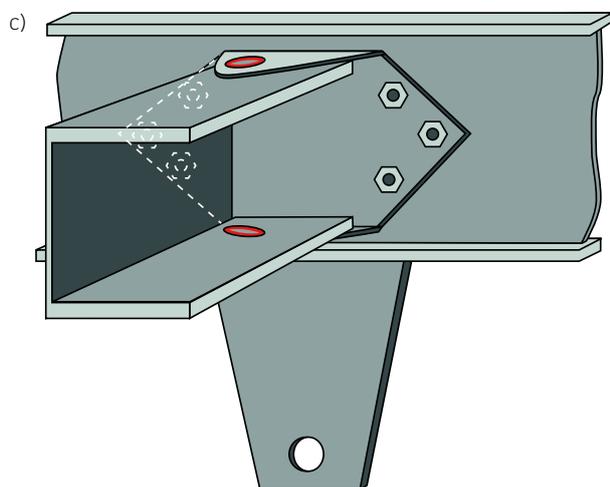
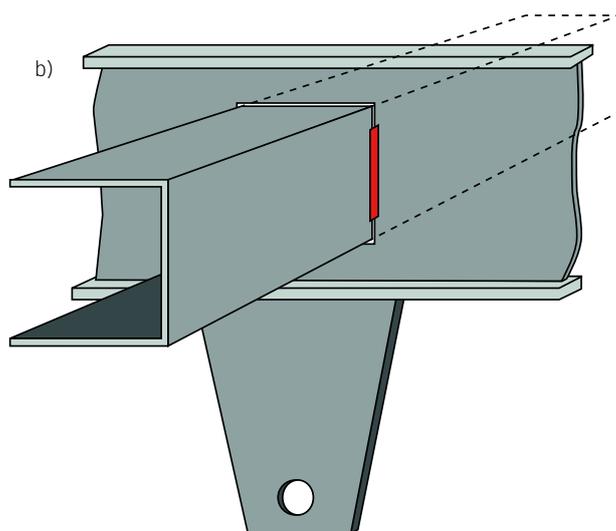
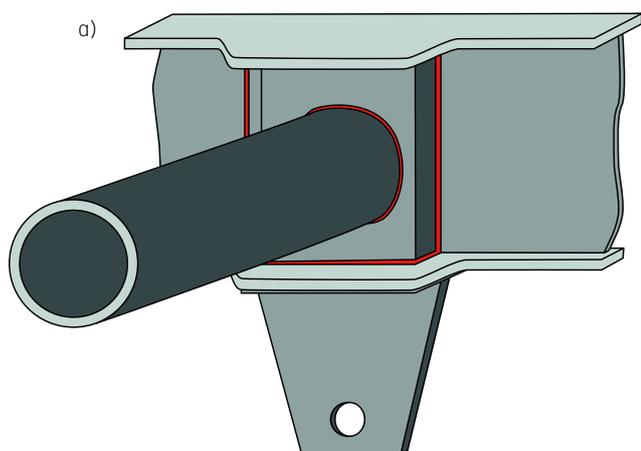
Un'altra soluzione consiste nell'utilizzo di una staffa di collegamento per distribuire le sollecitazioni su una superficie maggiore. La staffa di collegamento può essere saldata, rivettata o bullonata all'anima del longherone.

FIGURA 16 Il posizionamento dell'elemento di rinforzo a una certa distanza dalla staffa di sospensione comporterà una flessione aggiuntiva sulla flangia inferiore e ridurrà sensibilmente la resistenza alla fatica.



Per migliorare le proprietà di resistenza alla fatica andrebbe posizionato in questa zona un rinforzo per il corpo che sia direttamente in linea con la staffa di sospensione. L'introduzione di una flangia più ampia permette di affiancare l'aumentata resistenza alla flessione e consente ai giunti saldati di essere posizionati a una certa distanza dall'area critica della flangia inferiore. Per migliorare ulteriormente la resistenza alla fatica è ammessa l'introduzione di un giunto bullonato.

FIGURA 17 Diverse tipologie di collegamenti all'elemento trasversale.



La tipologia di elemento trasversale da utilizzare e il progetto del collegamento alle travi principali dipendono dal tipo di rimorchio. Per rimorchi sottoposti a carichi torcenti sostanziali si consigliano traverse a sezione trasversale chiusa. Per i mezzi pesanti è vantaggioso combinare tale profilo con un rinforzo per l'anima del longherone a U, saldato sia sull'anima sia sulle flangie (a). Per le traverse a C sporgenti basta saldare le anime (b). Le traverse possono anche essere avvitate o rivettate alle travi principali.

PRODUZIONE

In base alla nostra esperienza, la causa principale di rottura per fatica nel telaio del rimorchio è da riscontrare nella scarsa qualità del giunto saldato. Pertanto, non solo è importante valutare nel dettaglio il nuovo progetto migliorato, ma anche accertarsi del processo di produzione. Una qualità scadente dei bordi o dei particolari saldati ridurranno rapidamente la vita utile di qualsiasi rimorchio.

QUALITÀ DEI BORDI

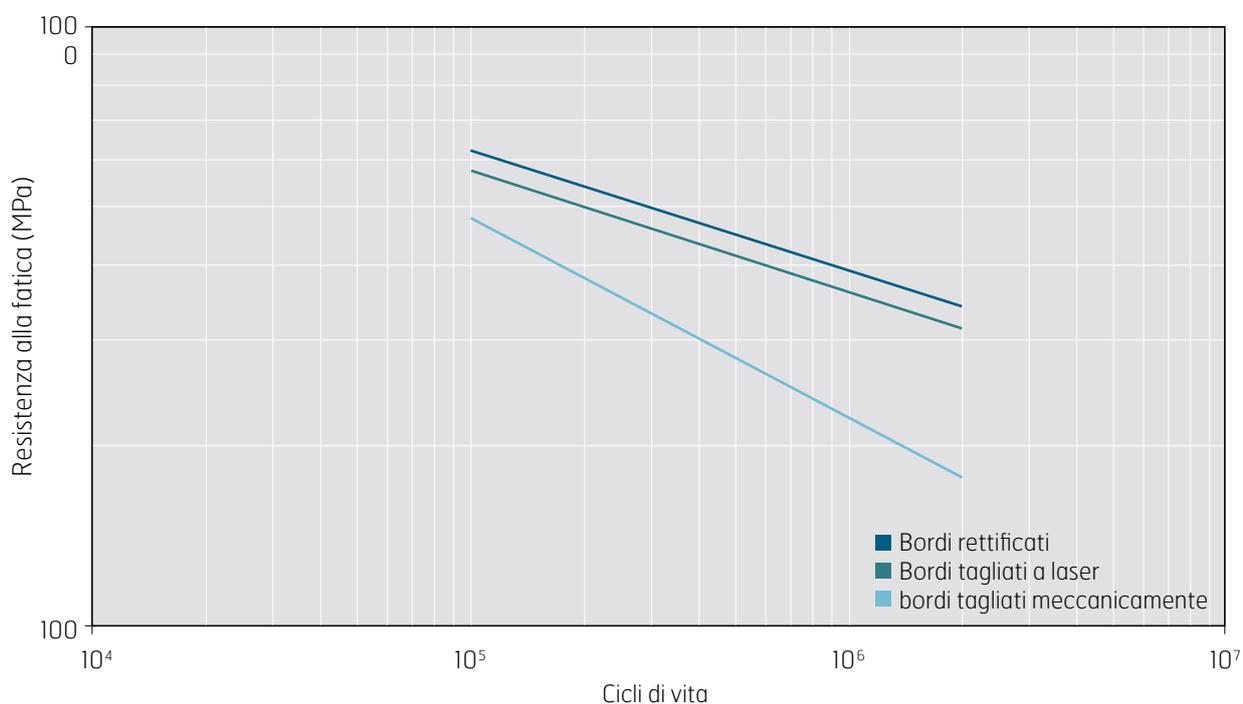
Anche la qualità dei bordi è importante in termini di resistenza alla fatica: diversi metodi di rifilatura producono diverse qualità per questi bordi. La Figura 18 mostra i risultati derivati dalle prove di fatica di Strenx 700 MC in presenza di diverse condizioni dei bordi. I bordi tagliati a laser sono spesso migliori di quelli tagliati meccanicamente. Affinché i bordi tagliati meccanicamente ottengano una buona resistenza alla fatica è importante rimuovere tutti i difetti visivi simili a cricche.

I moderni processi di termotaglio quali laser o plasma ad alta definizione producono generalmente per Strenx 700 MC dei bordi dotati di buone proprietà di resistenza alla fatica. Dal punto di vista della fatica, l'ordine di preferenza per tali metodi è laser, plasma e infine taglio manuale a gas. Per evitare problemi di fatica è inoltre importante che le posizioni di inizio e arresto dell'operazione di taglio si trovino in zone soggette a bassa sollecitazione. La granigliatura dei bordi tagliati ha un effetto positivo sulla resistenza alla fatica.

ZINCATURA A CALDO

La zincatura a caldo viene utilizzata per migliorare la resistenza alla corrosione. Gli acciai altoresistenziali Strenx, fino a Strenx 700 MC, sono estremamente adatti alla zincatura a caldo se ordinati in condizioni specifiche con un dato contenuto di silicio. Le proprietà meccaniche degli acciai non subiscono generalmente l'influenza del processo di zincatura;

FIGURA 18 Risultati derivati dalle prove di fatica di Strenx 700 MC in presenza di diverse condizioni dei bordi.





per esempio, non si rivela alcuna influenza delle proprietà di resistenza alla fatica dei giunti saldati. Tuttavia, si potrebbe notare che la resistenza alla fatica del materiale di base è leggermente ridotta a causa dello strato di zinco e dell'interfaccia tra lo strato di zinco e la superficie in acciaio. Per Strenx 700 MC la zincatura a caldo di norma riduce la resistenza alla fatica del materiale di base di circa il 10%.

METODI DI SALDATURA

Tutti i metodi di saldatura convenzionali possono essere utilizzati per l'acciaio AHSS. I metodi di saldatura comunemente utilizzati nell'industria dei rimorchi oggi sono:

- saldatura MAG (provista di filo solido o di filo animato)
- saldatura ad arco sommerso (talvolta utilizzata per produrre le travi longitudinali)

METALLO D'APPORTO

La resistenza del materiale d'apporto generalmente dovrebbe corrispondere alla resistenza del materiale di base, tabella 3. Tuttavia, i punti di saldatura sulle applicazioni per rimorchio sono sottoposte molto di rado a livelli di sollecitazione che richiedono un metallo d'apporto equivalente. Nella maggior parte dei casi è pertanto possibile ricorrere a metalli d'apporto non equivalenti. Se si utilizza la saldatura ad arco sommerso in caso di acciaio AHSS, si consiglia un flusso basico.

APPORTO TERMICO – STRENX

Gli acciai altoresistenziali sono piuttosto sensibili agli apporti termici elevati. Un apporto termico eccessivo riduce la resistenza e la resilienza del giunto saldato. Se il limite di snervamento minimo del materiale di base deve essere rispettato nel giunto saldato, il massimo apporto termico consigliato non dovrebbe eccedere i valori indicati alla figura 19.

Il grafico nella figura 19 è valido per saldature di testa comprensive di metallo d'apporto equivalente e in cui le prove siano state condotte dopo l'asportazione della corona del cordone. La massima temperatura tra i cicli di saldatura è pari a 100 °C. L'apporto di calore può essere calcolato secondo la figura 20.

I valori di efficienza dell'arco per saldatura SAW e MAG sono riportati nella tabella 4.

Se un giunto saldato è localizzato in un'area soggetta a bassa sollecitazione e il requisito di resilienza è trascurabile, è possibile utilizzare apporti termici più elevati.

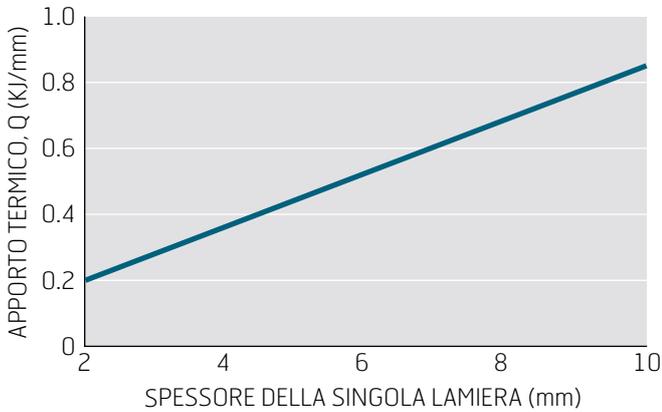
APPORTO DI CALORE – STRENX CR

L'acciaio Strenx laminato a freddo è realizzato in spessori inferiori e ciò rende più complesso ridurre l'apporto termico ad un livello tale da garantire che la rottura avvenga sul materiale di base. Come regola generale si consiglia di procedere alla saldatura utilizzando il più basso apporto termico possibile.

TABELLA 3 Materiale d'apporto per acciaio Strenx.

Qualità di acciaio	Saldatura MAG (GMAW)	Saldatura ad arco sommerso (SAW)
Strenx 700 MC	AWS: A5.28 ER100S-X AWS: A5.28 ER110S-X EN 12534 G Mn3Ni1CrMo EN 12543 G Mn4Ni2CrMo	AWS: A5.23 F10X AWS: A5.23 F11X EN ISO 26304-A S69X
Strenx 700 CR Strenx 960 CR	AWS: A5.28 ER110S-X AWS: A5.28 ER120S-X EN 12534: G Mn3Ni1CrMo EN 12543: G Mn4Ni2CrMo	

FIGURA 19 Massimo apporto termico consigliato (Q) per Strenx 700.



Massimo apporto termico consigliato per rispettare il limite di snervamento minimo (Re) e i requisiti di tenacità all'impatto a -40° C.

FIGURA 20 Formula utilizzata per il calcolo dell'apporto termico.

$$E = \frac{U \cdot I \cdot 60}{v \cdot 1000} \text{ kJ/mm} \quad Q = E \cdot k$$

U = voltaggio, I = corrente, v = velocità di saldatura (mm/min),
k = efficienza dell'arco.

TABELLA 4 Efficienza dell'arco per diversi metodi di saldatura.

Metodo di saldatura	Efficienza dell'arco
Saldatura MAG	0,8
SAW	1,0

DISTORSIONE – STRENX

In pratica, per le applicazioni nell'ambito dei rimorchi, la distorsione dovuta alla saldatura è più critica rispetto alla resistenza statica dei giunti saldati. Al fine di ridurre al minimo la distorsione dovuta alle operazioni di saldatura:

- Procedere alla saldatura utilizzando il più basso apporto termico possibile
- Ridurre al minimo l'area trasversale del giunto saldato, figura 21
- Precaricare, serrare o angolare le parti prima di procedere alla saldatura in modo da compensare il ritiro sul telaio
- Evitare intervalli irregolari
- Ricorrere a giunti di saldatura simmetrici; figura 22
- Ridurre al minimo gli rinforzi e ottimizzare l'altezza di gola della saldatura nell'angolo
- Saldare a partire dalle aree rigide verso l'estremità
- Ottimizzare la sequenza di saldatura in modo da favorire un'uniforme distribuzione del calore.

FIGURA 21 Sezione trasversale della saldatura e influenza sulla deviazione dell'angolo.

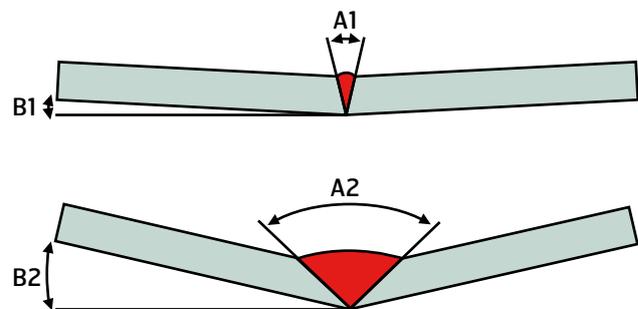
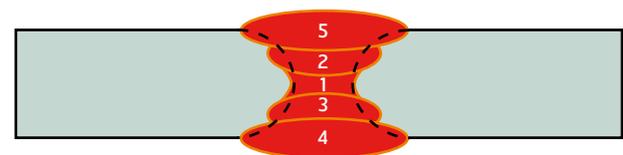


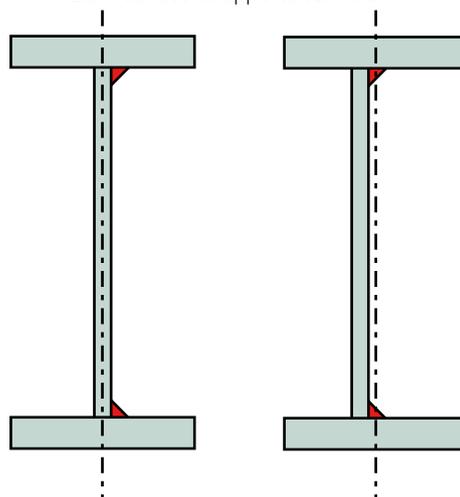
FIGURA 22 Ricorrere a una sequenza di saldatura simmetrica.





Al fine di evitare travi longitudinali curvate o deformate dopo la saldatura, posizionare l'anima dissasata in relazione alla flangia. Ciò permette di localizzare i cordoni di saldatura longitudinali nell'asse neutro delle flange, figura 23.

FIGURA 23 Posizionare l'anima dissasata rispetto alle flangie rende possibile eseguire i cordoni in corrispondenza dell'asse neutro della stessa, il che riduce l'insorgere di deformazioni dovute all'apporto termico.



DISTORSIONE-STRENX CR

Al fine di evitare pesanti deformazioni sull'acciaio Strenx CR si consiglia quanto segue:

- Procedere alla saldatura utilizzando il più basso apporto di calore possibile.
- Utilizzare un filo dal diametro ristretto (0,8 mm).
- La tecnica di saldatura in discesa riduce l'apporto di calore ed è consigliata se permesso dall'applicazione e dalle condizioni di produzione.
- se l'applicazione consente un piccolo intervallo tra le lamiere, è possibile utilizzare una saldatura intermittente.
- Se l'applicazione richiede una giunzione a tenuta, è possibile utilizzare silicone o sostanze adesive anziché procedere alla saldatura per sigillare la giunzione e prevenire l'insorgere di corrosione.
- Ricorrere a saldature sovrapposte anziché a saldature di testa.
- Per la puntatura di spessori sottili si consiglia di eseguire tratti lunghi tra 10 e 25 mm, a intervalli di 100 mm.
- Le fonti di energia per la saldatura mag sono molto migliorate negli ultimi tempi, il che rende possibile la saldatura di lamiere sottili con indicativamente il 50 % di apporto termico in meno.
- Se il giunto è accessibile da entrambe le parti, è possibile utilizzare la saldatura a resistenza anziché ad arco.
- Evitare la saldatura e ricorrere a connessioni meccaniche per avere scarse o zero deformazioni.

RADDRIZZATURA

La raddrizzatura a caldo è un metodo molto comune per riparare travi longitudinali di telai per rimorchi distorte a causa della saldatura. Tale processo non è consigliato per gli acciai all-tore-sistenziali Strenx. Questo perché l'acciaio potrebbe perdere le sue proprietà garantite nella zona riscaldata.

Le temperature massime che questi tipi di acciai possono sopportare senza perdere le proprietà meccaniche garantite sono le seguenti:

Strenx 700 MC	650 °C
Strenx 700 CR	300 °C
Strenx 960 CR	200 °C

QUALITÀ DELLA SALDATURA

Se le flange dei longheroni devono essere sottoposte a saldatura (operazione sconsigliata) al fine di aumentare la lunghezza della flangia o della trave, si raccomanda di utilizzare un supporto provvisorio per i punti di inizio ed arresto. Il supporto provvisorio può essere facilmente rimosso mediante rettifica successivamente alla saldatura. Figura 24.

FIGURA 24 Prestare attenzione ai fermi posizionati sulla piastra anodica. Tale piastra viene successivamente rimossa mediante rettifica.



FIGURA 25 Direzione corretta degli scarti di rettifica orientati longitudinalmente rispetto alla sollecitazione.



Rettificare il bordo con una mola liscia e assicurarsi che la direzione degli scarti di rettifica sia longitudinale rispetto alla direzione di carico, figura 25. L'alternativa consiste nel progettare il giunto saldato a un angolo di 45° sulla lunghezza della flangia, in modo da evitare il principale flusso di sollecitazioni nel senso trasversale della saldatura.

Le operazioni di saldatura effettuate mediante filo animato hanno la tendenza a ricreare transizioni molto lisce tra il metallo saldato e il materiale di base. Tale proprietà potrebbe essere utilizzata per aumentare le prestazioni di fatica del punto di saldatura, specialmente in aree critiche quali il collegamento al sollevatore e i collegamenti alle staffe di sospensione.

Al fine di garantire la qualità della saldatura è importante esaminare tutte le saldature eseguite. I difetti che si rivelano particolarmente dannosi per le prestazioni di fatica del rimorchio sono quelli riguardanti cricche in superficie, quali:

- incisioni
- difetti sul vertice
- mancata penetrazione
- incollatura
- qualsiasi tipo di cricca

Mediante un'adeguata tecnica di saldatura e un'adeguata conoscenza di come si giunge a tali difetti è possibile evitare futili riparazioni. La figura 26 da a) a f) descrive le più comuni discontinuità da saldatura, come compaiono e come evitarle.

FIGURA 26 Difetti di saldatura, perché insorgono e come evitarli:
a) Mancanza di penetrazione b) Incisioni marginali c) Mancanza di fusione d) Crateri e) Porosità f) Insellamento.



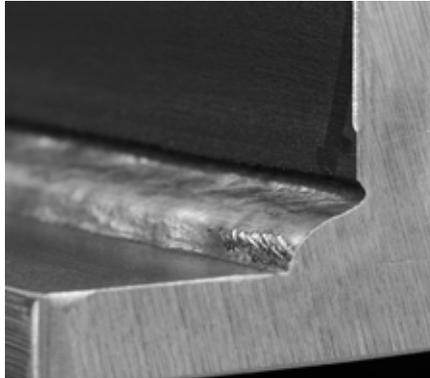
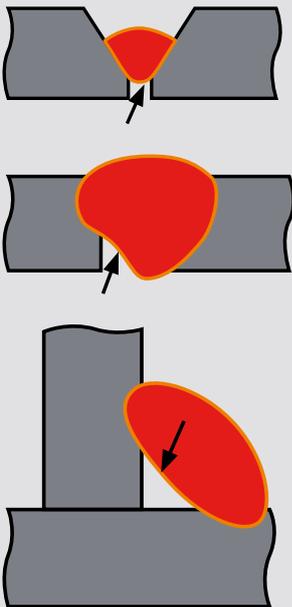
**a) MANCANZA DI PENETRAZIONE/
DIFETTO DEL VERTICE**

CAUSA

- Angolo del cianfrino troppo stretto
- Luce tra i lembi insufficiente
- Spalla troppo larga
- Tecnica di saldatura inadeguata
- Apporto termico insufficiente

AZIONI CORRETTIVE

- Aumentare l'angolo del cianfrino (45°-60°)
- Aumentare la luce
- Adeguare la spalla all'apporto termico (1 – 2 mm)
- Diminuire l'oscillazione dell'elettrodo
- Aumentare l'ampereaggio



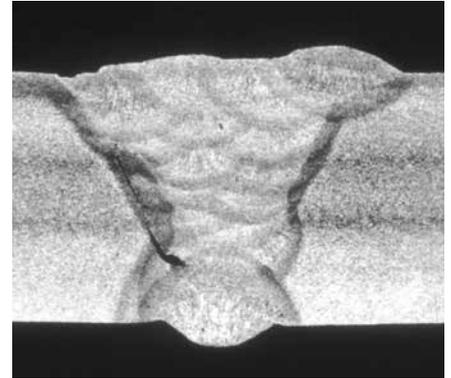
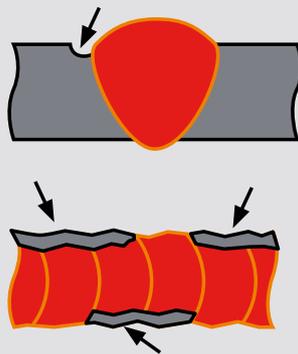
b) INCISIONI MARGINALI

CAUSA

- Eccessiva velocità di avanzamento
- Tecnica di oscillazione non corretta
- Angolo della torcia non corretto
- Eccessivo voltaggio
- Eccessivo apporto termico

AZIONI CORRETTIVE

- Diminuire la velocità di avanzamento
- Fare brevi fermate all'estremità dell'oscillazione
- Adeguare l'angolo della torcia
- Diminuire il voltaggio
- Ridurre l'apporto termico



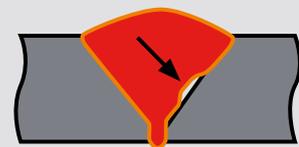
c) MANCANZA DI FUSIONE

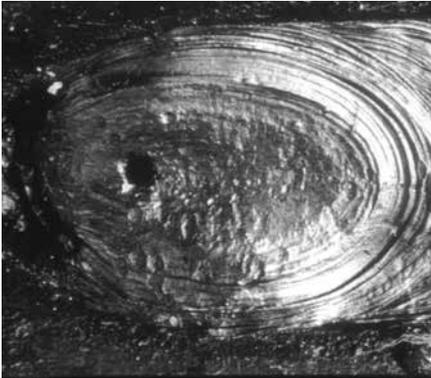
CAUSA

- Insufficiente velocità di avanzamento (il materiale d'apporto inizia a fluire prima dell'arco)
- Eccessiva velocità di avanzamento
- Voltaggio insufficiente
- Eccessiva distanza di "stick out"
- Ugello usurato
- Insufficiente pulizia tra le passate
- Saldatura sopratesta discendente (verso il basso)

AZIONI CORRETTIVE

- Aumentare la velocità di avanzamento
- Diminuire la velocità di avanzamento
- Aumentare il voltaggio
- Diminuire la distanza di "stick out"
- Sostituire l'ugello
- Rimuovere le scorie prima della passata successiva
- Adeguare la velocità di avanzamento in base alla posizione





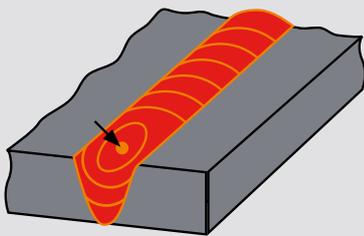
d) CRATERI

CAUSA

- Tecnica di saldatura non corretta

AZIONI CORRETTIVE

- Utilizzare una tecnica di saldatura adeguata. Invertire e ripartire per riempire il cratere. Cordoni/ sezioni maggiori possono necessitare di un breve periodo di raffreddamento (2 - 3 s) prima che il cratere venga riempito.



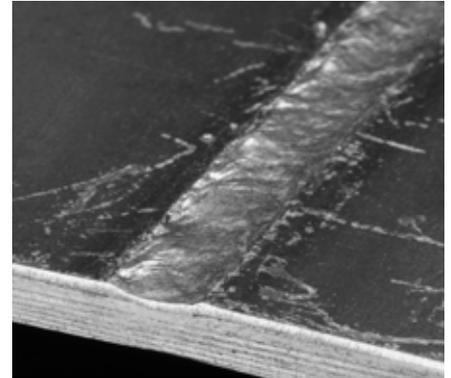
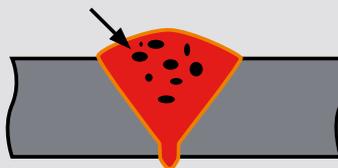
e) POROSITÀ

CAUSA

- Impurità nel giunto di saldatura (umidità, olio, corrosione, ecc.)
- Atmosfera contaminante
- Flusso di gas eccessivo
- Flusso di gas insufficiente
- Contaminazione del gas protettivo (attrezzatura)
- Azione dell'iniettore
- Rivestimento superficiale (zinco, primer)

AZIONI CORRETTIVE

- Tenere il giunto libero da impurità
- Controllare l'attrezzatura
- Regolare il flusso del gas
- Tecnica di saldatura (angolo della torcia)
- Rimuovere il rivestimento superficiale



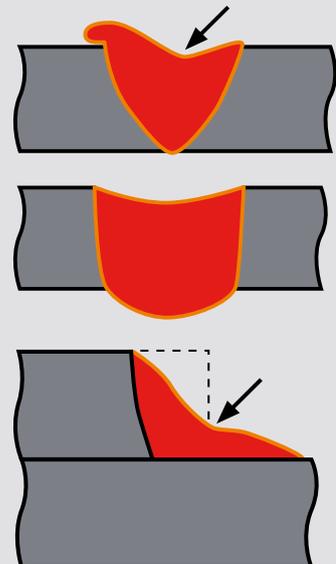
f) INSELLAMENTO
(CONCAVITÀ DELLA SALDATURA)

CAUSA

- Eccessiva velocità di avanzamento
- Numero di cordoni insufficiente
- Saldatura discendente

AZIONI CORRETTIVE

- Ridurre la velocità di avanzamento
- Usare un numero di cordoni sufficiente
- passare alla posizione PA (orizzontale)





2000 BC

PER IL FUTURO

I rimorchi di oggi hanno ereditato la progettazione del telaio tipica dei carri antichi che venivano tirati da buoi o cavalli all'incirca 4000 anni fa. E' naturale pensare che le nuove tecniche di produzione e i materiali più avanzati avrebbero promosso nuovi metodi di progettazione per un prodotto rimasto virtualmente immutato nel tempo; tuttavia, l'impiego dell'acciaio risale soltanto agli ultimi 150 anni e l'acciaio alto-resistenziale di nuova generazione (AHSS) è stato introdotto negli ultimi 30 anni. Per i veicoli moderni inventati nel corso del 20° secolo, come l'automobile e l'aereo, si è assistito a uno sviluppo molto più rapido nel miglioramento delle progettazioni e nella riduzione del peso promosso dalla produzione di massa, dalla richiesta di prestazioni migliori o da costi operativi molto elevati.

RICHIESTA DI MEZZI PIÙ LEGGERI E PIÙ RESISTENTI

Oggi giorno, i mezzi pesanti quali camion e rimorchi devono sottostare a richieste molto esigenti in termini di efficienza di trasporto e costi operativi. Si è verificato un naturale incremento nell'impiego di acciaio AHSS per queste applicazioni, soprattutto per quanto riguarda il limite di snervamento compreso tra 500 e 700 MPa. Compiere questo passo evolutivo è piuttosto semplice per quei rimorchi progettati con gli stessi requisiti di 4.000 anni fa, questi possono essere migliorati riducendo lo spessore e apportando migliorie di progettazione, in modo da dar vita a telai più resistenti e più leggeri.

NUOVE QUALITÀ DI ACCIAIO PIÙ RESISTENTI

Tuttavia, SSAB sviluppa costantemente nuove qualità di acciaio sempre più resistenti. Già oggi siamo in grado di fornire acciai dotati di limite di snervamento pari a 960 e 1100 MPa, che offrono opportunità di ulteriore sviluppo dei prodotti finali. L'esistenza di nuove qualità di acciaio più resistenti, tuttavia, non significa necessariamente che possano essere adattate con facilità alle progettazioni di vecchio stampo. Il dimensionamento telaistico dei rimorchi è stato tradizionalmente confermato da anni di esperienza, e al giorno d'oggi da alcune simulazioni FEA e test di validazione. Con l'introduzione dell'acciaio AHSS, il materiale è in grado di operare sotto sollecitazioni superiori e deflessioni elastiche più ampie; tuttavia, i giunti saldati all'interno delle strutture costituiscono il limite ultimo al desiderio di beneficiare al meglio del materiale utilizzato nelle sezioni. I giunti saldati rappresentano uno dei fattori più limitanti alla costante riduzione del peso del telaio per via della loro ridotta resistenza alla fatica. Pertanto, l'introduzione di metodi di post-trattamento quali il procedimento IMAF (Impatto Meccanico ad Alta Frequenza - HFMI) e di metodi di giunzione alternativi quali avvitamento, rivettatura, aggraffatura, incollaggio e altre tecnologie possono incoraggiare un maggiore impiego di qualità di acciai altoresistenziali. Lo sviluppo di telai più resistenti e più leggeri tramite qualità di acciaio più elevate necessita di una nuova strategia progettuale, in cui il processo di saldatura sia ridotto al minimo e l'introduzione del carico permetta di raggiungere un buon impiego del materiale.



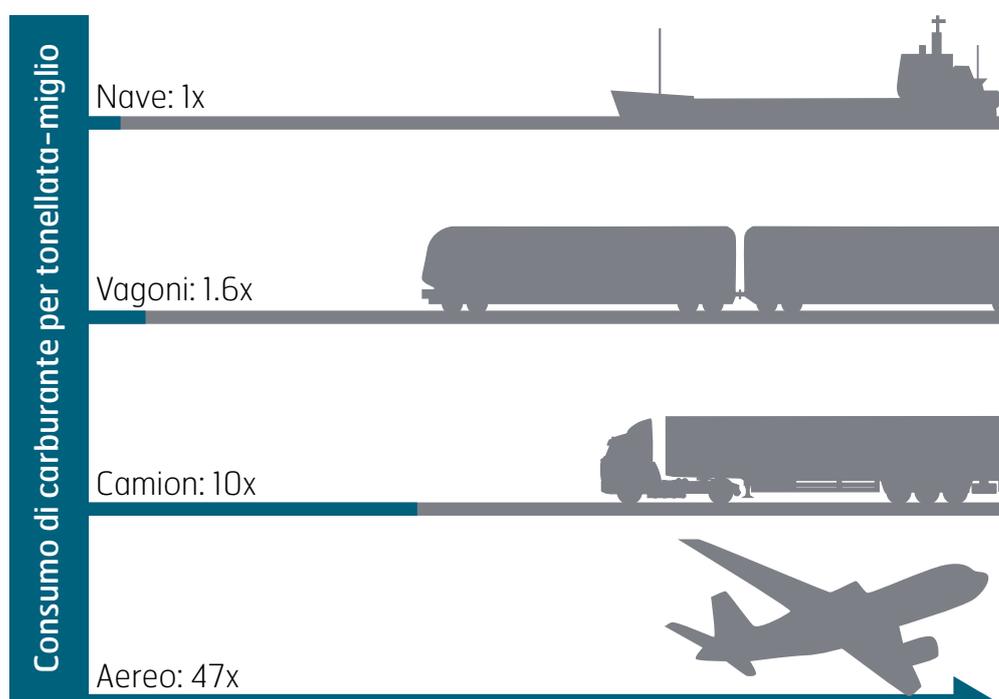
VERSO NUOVI CONCEPT DI PROGETTAZIONE

L'introduzione di spessori inferiori e di nuove tecniche di produzione permette di esplorare nuovi concept. Una soluzione interessante è rappresentata da un telaio monoscocca autoportante simile a quelli ormai utilizzati nell'industria automobilistica. Tali strutture continue composte da spessori sottili determinano anche la necessità di una nuova strategia nella formatura del materiale, basata su processi non proprio comuni all'interno delle officine di produzione rimorchi, quali profilatura, imbutitura, ecc. Per questi nuovi materiali sono disponibili anche metodi più avanzati, quali profilatura 3D, stampaggio, ecc. Le strutture continue composte da spessori sottili spesso non sono solo più leggere, ma anche più rigide, e permettono di integrare componenti e funzioni nella stessa

struttura. Tuttavia, l'impiego di nuove geometrie richiede molto impegno nel comprendere il comportamento strutturale del telaio in tutte le condizioni di carico e determina inoltre la necessità di analizzare i requisiti di rigidità, la resistenza alla fatica e il comportamento di componenti quali paraurti e deflettori in caso d'urto.

Intraprendere il passo successivo nello sviluppo di rimorchi più leggeri e più resistenti richiede che tutta l'esperienza acquisita negli anni nell'ambito di progetti per telai sia combinata a un nuovo sapere in campi in cui la conoscenza dei materiali e la scelta degli stessi giocano un ruolo fondamentale. Da sempre, SSAB condivide le proprie conoscenze in questo campo ed è sempre pronta ad assistere i propri clienti.

FIGURA 27 Consumo di carburante ed emissioni di gas serra per una tonnellata per miglio.



SSAB è un'acciaieria con sede nei Paesi Nordici e negli Stati Uniti. SSAB offre prodotti e servizi ad alto valore aggiunto, sviluppati in stretta collaborazione con i propri clienti per un mondo più forte, più leggero e più sostenibile. SSAB ha dipendenti in oltre 50 Paesi. SSAB ha stabilimenti produttivi in Svezia, Finlandia e negli Stati Uniti. SSAB è quotata al Nasdaq OMX Nordic Exchange di Stoccolma e al Nasdaq OMX di Helsinki.

www.ssab.com

SSAB Swedish Steel S.p.A.

Via G. Di Vittorio 6
25016 Ghedi (BS)
Italia

T +39 030 9058811
F +39 030 9058930
ssab.italia@ssab.com

www.ssab.it/strenx

SSAB