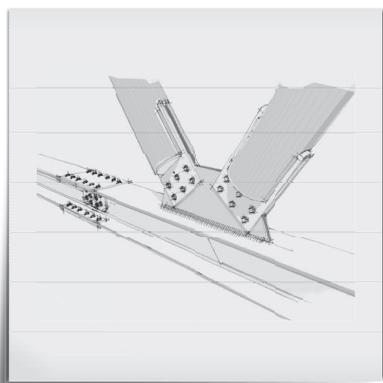


Simone Caffè

ACCIAIO

MANUALE TECNICO PER IL PROGETTO E LA VERIFICA DELLE STRUTTURE IN ACCIAIO E DELLE CONNESSIONI BULLONATE E SALDATE

AI SENSI DEL D.M. 14 GENNAIO 2008 (NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI)
E DELLE NORME UNI EN 1993-1-1:2005 E UNI EN 1993-1-8:2005



SOFTWARE INCLUSO

FOGLI DI CALCOLO PER LA VERIFICA DI MEMBRATURE E CONNESSIONI



GRAFILL

Simone Caffè

ACCIAIO

MANUALE TECNICO PER IL PROGETTO E LA VERIFICA
DELLE STRUTTURE IN ACCIAIO E DELLE CONNESSIONI BULLONATE E SALDATE

ISBN 13 978-88-8207-499-9

EAN 9 788882 074999

Manuali, 132

Prima edizione, dicembre 2012

Caffè, Simone <1976->

Acciaio : manuale tecnico per il progetto e la verifica delle strutture in acciaio e delle connessioni bullonate e saldate / Simone Caffè. – Palermo : Grafill, 2012. (Manuali ; 132)

ISBN 978-88-8207-499-9

1. Strutture in acciaio.

624.1821 CDD-22

SBN Pal0249003

CIP – Biblioteca centrale della Regione siciliana "Alberto Bombace"

Il disegno di copertina
è stato realizzato dall'Ingegnere Eugenio Evaso

© **GRAFILL S.r.l.**

Via Principe di Palagonia, 87/91 – 90145 Palermo

Telefono 091/6823069 – Fax 091/6823313

Internet <http://www.grafill.it> – E-Mail grafill@grafill.it

Finito di stampare nel mese di dicembre 2012

presso **Officine Tipografiche Aiello & Provenzano S.r.l.** Via del Cavaliere, 93 – 90011 Bagheria (PA)

Tutti i diritti di traduzione, di memorizzazione elettronica e di riproduzione sono riservati. Nessuna parte di questa pubblicazione può essere riprodotta in alcuna forma, compresi i microfilm e le copie fotostatiche, né memorizzata tramite alcun mezzo, senza il permesso scritto dell'Editore. Ogni riproduzione non autorizzata sarà perseguita a norma di legge. Nomi e marchi citati sono generalmente depositati o registrati dalle rispettive case produttrici.

La riproduzione di parti delle norme UNI EN 1993-1-8:2005, UNI EN 1993-1-5:2006 (E) e UNI ENV 1993-1-1:2004 è stata autorizzata da UNI – Ente Nazionale Italiano di Unificazione. L'unica versione che fa fede è quella originale reperibile in versione integrale presso UNI, via Sannio 2 – 20137 Milano, tel. 02/70024200, fax 02/5515256, e-mail: diffusione@uni.com, sito internet: www.uni.com.

Ai miei genitori e ad Emanuela

INDICE

PRESENTAZIONE.....	p.	11
INTRODUZIONE.....	"	13
1. PROPRIETÀ DEGLI ACCIAI		
E CARATTERISTICHE MECCANICHE DELLE SEZIONI	"	15
1.1. Proprietà degli Acciai	"	15
1.2. Prodotti	"	22
1.3. Caratteristiche meccaniche delle sezioni.....	"	24
› Scheda tecnica ST1.1		
<i>Sezioni a I e ad H laminate a caldo</i>	"	25
› Scheda tecnica ST1.2		
<i>Sezioni a I e ad H saldate</i>	"	27
› Scheda tecnica ST1.3		
<i>Sezioni a I e ad H saldate, ad ali disuguali.....</i>	"	29
› Scheda tecnica ST1.4		
<i>Sezioni a T saldate</i>	"	32
› Scheda tecnica ST1.5		
<i>Sezioni a C saldate.....</i>	"	35
› Scheda tecnica ST1.6		
<i>Sezioni a L.....</i>	"	38
› Scheda tecnica ST1.7		
<i>Sezioni tubolari</i>	"	41
› Scheda tecnica ST1.8		
<i>Sezioni scatolari.....</i>	"	43
› Scheda tecnica ST1.9		
<i>Calcolo dei fattori di warping per sezioni ad I e ad H</i>	"	45
› Applicazione A1.1		
<i>Calcolo delle proprietà geometriche</i>		
<i>e meccaniche di una sezione a C</i>	"	49
› Applicazione A1.2		
<i>Esempio di calcolo della costante di warping</i>		
<i>di una sezione a "I" con ali non simmetriche</i>	"	57

2. CONSIDERAZIONI		
SULL'ANALISI STRUTTURALE GLOBALE	p.	59
2.1. Le basi della progettazione (azioni, combinazioni e resistenze)	~	59
2.1.1. Azioni di progetto	~	59
2.1.2. Combinazione delle azioni	~	61
2.1.3. Concetto di Stati Limite	~	63
> Scheda tecnica ST2.1		
<i>Combinazione delle azioni</i>	~	65
2.2. Modellazione delle strutture e metodi di analisi	~	68
2.2.1. Modellazione strutturale	~	68
2.2.2. L'analisi globale	~	71
2.3. L'analisi strutturale dei telai	~	72
2.3.1. Classificazione dei telai	~	74
> Applicazione A2.1	~	77
> Applicazione A2.2	~	79
2.3.2. Effetti del secondo ordine per telai a nodi spostabili	~	82
> Applicazione A2.3	~	84
2.3.3. Effetti delle imperfezioni nelle strutture	~	86
> Applicazione A2.4	~	92
3. CLASSIFICAZIONE DELLE SEZIONI	~	99
3.1. Generalità	~	99
3.2. Rapporti dimensionali larghezza-spessore degli elementi compressi	~	100
3.3. Classificazione delle sezioni trasversali tese	~	104
3.4. Classificazione delle sezioni trasversali compresse	~	104
3.5. Classificazione delle sezioni trasversali inflesse	~	104
3.6. Classificazione delle sezioni trasversali soggette a presso flessione	~	105
> Scheda tecnica ST3.1		
<i>Dominio di transizione di classe</i>	~	106
> Applicazione A3.1	~	114
> Applicazione A3.2	~	116
> Applicazione A3.3	~	123
4. RESISTENZA DELLE MEMBRATURE	~	134
4.1. Generalità	~	134
4.2. Criteri di resistenza delle sezioni trasversali	~	134
4.3. Elementi soggetti a trazione pura	~	136
> Scheda tecnica ST4.1		
<i>Determinazione dell'area netta A_{net}</i>	~	138
4.4. Elementi soggetti a compressione pura	~	140

4.5.	Elementi soggetti a flessione monoassiale	p.	141
4.5.1.	Verifiche agli SLE	"	141
4.5.2.	Verifiche agli SLU	"	143
	> Applicazione ST4.1	"	146
	> Scheda tecnica ST4.2		
	<i>Caratteristiche meccaniche efficaci</i>	"	150
4.6.	Elementi soggetti a taglio	"	153
4.7.	Elementi soggetti a torsione	"	155
4.7.1.	Torsione uniforme	"	155
4.7.2.	Torsione non uniforme	"	157
4.7.3.	Torsione mista	"	157
4.8.	Verifica tensionale elastica delle sezioni soggette ad azioni combinate	"	161
	> Applicazione A4.2	"	163
4.9.	Resistenza plastica delle sezioni soggette ad azioni combinate	"	166
4.9.1.	Taglio e torsione	"	166
4.9.3.	Flessione biassiale e taglio	"	167
4.9.4.	Flessione e forza assiale in sezioni trasversali di classe 1 o 2	"	168
4.9.5.	Flessione biassiale e forza assiale in sezioni trasversali di classe 1 o 2	"	171
4.9.6.	Flessione biassiale e forza assiale in sezioni trasversali di classe 3 o 4	"	171
4.9.7.	Flessione e torsione	"	172
4.9.8.	Flessione, taglio e forza assiale	"	172
5.	STABILITÀ DELLE MEMBRATURE	"	175
5.1.	Stabilità delle membrature compresse	"	175
5.1.1.	Carico critico Euleriano nel caso di instabilità piana dell'asta ideale	"	176
5.1.2.	Lunghezza critica:	"	178
	> Applicazione A5.1	"	184
	> Applicazione A5.2	"	189
5.1.3.	Instabilità piana dell'asta reale	"	191
5.1.4.	Resistenza delle membrature nei confronti dell'instabilità piana	"	195
5.1.5.	Instabilità torsionale o flesso torsionale nelle membrature compresse	"	198
	> Applicazione A5.3	"	201
5.2.	Stabilità laterale delle membrature inflesse	"	204
5.2.1.	Momento critico elastico per la trave ideale	"	205
	> Applicazione A5.4	"	220
5.3.	Stabilità delle membrature presso-inflesse biassialmente	"	228

5.3.1.	Verifica delle sezioni presso-inflesse biassialmente con il METODO 1	p.	230
5.3.2.	Verifica delle sezioni presso-inflesse biassialmente con il METODO 2	~	233
	> Applicazione A5.5	~	236
5.4.	Stabilità delle aste compresse composte	~	248
	> Applicazione A5.6	~	258
6.	PROGETTO E VERIFICA DELLE CONNESSIONI	~	263
6.1.	Criteri generali di progettazione	~	263
6.1.1.	Premessa	~	263
6.1.2.	Coefficienti parziali di sicurezza per le connessioni	~	263
6.1.3.	Considerazioni generali sulle connessioni	~	264
6.2.	Connessioni bullonate.....	~	264
6.2.1.	Bulloni, dadi e rondelle	~	264
6.2.2.	Categorie delle connessioni bullonate.....	~	265
6.2.3.	Dimensione e posizionamento dei fori.....	~	266
6.2.4.	Verifiche dei bulloni per le connessioni in categoria A e D.....	~	268
6.2.5.	Verifiche dei bulloni per le connessioni in categoria B, C ed E	~	270
6.2.6.	Distribuzione delle forze nei dispositivi di giunzione agli stati limite ultimi	~	272
6.2.7.	Connessioni semplici.....	~	274
	> Scheda tecnica ST6.1 <i>Piastra flessibile di estremità</i>	~	276
	> Scheda tecnica ST6.2 <i>Piastra sottile</i>	~	297
	> Scheda tecnica ST6.3 <i>Connessione con doppio angolare</i>	~	317
	> Scheda tecnica ST6.4 <i>Connessioni per travi reticolari</i>	~	341
6.2.8.	Connessioni in grado di trasmettere le sollecitazioni flettenti	~	350
	> Scheda tecnica ST6.5 <i>Connessione con coprigiunti d'ala e anima</i>	~	351
	> Applicazione A6.1	~	366
6.2.9.	Connessioni di base	~	396
	> Scheda tecnica ST6.6 <i>Connessioni di base incernierate</i>	~	397
	> Applicazione A6.2	~	404
	> Scheda tecnica ST6.7	~	407

	> Scheda tecnica ST6.8	
	<i>Connessioni di base rigide</i>	p. 411
	> Applicazione A6.3	" 425
6.3.	Connessioni saldate	" 430
	6.3.1. Generalità.....	" 430
	6.3.2. Saldature a cordone d'angolo	" 430
	6.3.3. Saldature di testa a completa penetrazione	" 431
	6.3.4. Saldature di testa a parziale penetrazione	" 432
	6.3.5. Resistenza delle saldature a cordone d'angolo	" 432
	> Scheda tecnica ST6.9	
	<i>Connessioni saldate</i>	" 434
	> Applicazione A6.4	" 446
7.	APPLICAZIONI NUMERICHE	" 448
	> Applicazione A7.1	
	<i>Caratteristiche efficaci e stato tensionale elastico</i>	" 448
	> Applicazione A7.2	
	<i>Resistenze plastiche di una sezione trasversale</i>	" 458
	> Applicazione A7.3	
	<i>Progetto e verifica di un impalcato in acciaio</i>	" 465
	> Applicazione A7.4	
	<i>Verifica di un portale incernierato alla base</i>	" 474
	> Applicazione A7.5	
	<i>Verifica di una connessione a perno</i>	" 514
	> Applicazione A7.6	
	<i>Verifica di una connessione con piastra sottile</i>	" 517
	> Applicazione A7.7	
	<i>Verifica di una connessione con coprighiunti</i>	" 523
	APPENDICI	" 531
	GUIDA AL SOFTWARE	" 566
	> Introduzione al software allegato.....	" 566
	> Requisiti minimi hardware e software	" 568
	> Download del software e richiesta della password di attivazione.....	" 568
	> Procedura per l'installazione e l'attivazione del software	" 568
	> Utilizzo del software	" 568
	BIBLIOGRAFIA	" 571

PRESENTAZIONE

Il testo appare unico nel panorama della letteratura tecnica e scientifica destinata agli Operatori più affermati nel campo della progettazione strutturale, sia per facilità di lettura che per praticità di utilizzo. Il professionista è sempre alla ricerca di strumenti aggiornati e di comprensione immediata: difficile trovare pubblicazioni così avanzate e complete nel settore delle connessioni degli elementi in carpenteria metallica. I nuovi disposti normativi prevedono una pluralità di verifiche da eseguirsi sui nodi che spesso richiedono maggiore impegno di quello dedicato alla progettazione complessiva. Con il testo e il supporto informatico predisposto dall'Ing. Simone Caffè si ha finalmente a disposizione un sistema facile, veloce e sicuro per la verifica dei collegamenti più complessi. È un testo che non deve mancare in uno Studio Tecnico di Ingegneria. È auspicabile che a questo esemplare "manuale" ne seguano presto altri di pari efficacia.

Dott. Ing. Aldo Signorelli

RINGRAZIAMENTI

Il mio primo ringraziamento va alla mia fidanzata l'Ingegnere Emanuela Fantin, che ha saputo spronarmi e sostenermi durante la stesura di questo manuale attraverso la sua costante presenza di spirito, la sua capacità critica ed il suo innato senso estetico. A lei devo la "riuscita" dell'intera parte grafica e stilistica. Ringrazio in particolar modo l'Ingegnere Enrico Sterpi Ph.D e l'Ingegnere Andrea Cavicchi Ph.D per aver sapientemente riletto, revisionato e corretto l'intero volume aggiungendo ad esso quel tocco squisitamente accademico che fa dell'ingegneria una materia di conoscenza prima ancora di uno strumento legato alla tecnica. Ringrazio sentitamente l'Ingegnere Aldo Signorelli per avermi insegnato ad amare la nobile arte della progettazione, per avermi trasmesso gran parte delle conoscenze che oggi detengo e per essere stato il primo a spronarmi verso la didattica. Ringrazio inoltre il Professor Francesco Biasioli per tutti i "buoni consigli" legati alla corretta stesura di un testo rivolto tanto agli studenti "affamati" di apprendimento, quanto ai professionisti affermati desiderosi di estendere i loro orizzonti di conoscenza. In ultimo ringrazio gli Ingegneri Antonio Spatari e Luca Caviglione per aver preso visione, testato e corretto i fogli di calcolo Excel annessi al presente volume.

Simone Caffè

INTRODUZIONE

“L'acciaio rappresenta il materiale da costruzione per eccellenza”. Fin dai tempi dell'Università ho sostenuto quest'affermazione, in accordo con quanto illustrato dal Professor Vladimiro Augusti al tempo docente di Scienza delle Costruzioni e Progetto di Strutture presso la Facoltà di Ingegneria di Genova. L'acciaio infatti possiede un comportamento che si avvicina molto al modello di solido ideale, isotropo e perfettamente elastico concepito da Adhémar Jean Claude Barré de Saint-Venant nella metà dell'800. L'accostamento, inizialmente timoroso, ai principi esposti nell'Eurocodice 3 ha stimolato in me la voglia di espandere i confini delle mie conoscenze oltre quelle che sono le basi accademiche, prestando particolare attenzione al calcolo delle connessioni fondato sui principi dell'analisi limite e non più sui metodi tensionali elastici tanto cari agli ingegneri che hanno saputo per anni insegnarci il mestiere del buon costruire.

La mia ricerca si è spinta oltre i confini delle pubblicazioni italiane e sebbene apprezzassi di esse la chiarezza e l'approfondimento delle parti teoriche (nelle quali noi Italiani siamo maestri), ho trovato grande soddisfazione e stupore nello scoprire il sito internet dell'Access Steel (<http://www.access-steel.com>) che mi ha permesso di apprendere nuove tecniche risolutive basate sulle Norme di calcolo internazionali utilizzando lo stile conciso e sintetico tipico dei “quaderni tecnici” dell'Italsider, sul quale noi tutti abbiamo avuto il piacere di studiare la Tecnica delle costruzioni. Sono rimasto sempre affascinato dai suddetti quaderni, scritti a mano eppure straordinariamente chiari, ordinati e precisi, ricchi di disegni esplicativi e di tabelle volte a “velocizzare” e “semplificare” la parte computazionale, al fine di lasciare maggior spazio alla “creatività progettuale” che, in ultima analisi, è ciò che fa del nostro mestiere un atto di assoluta volontà. Ispirato da ciò, ho voluto redigere un manuale che ricalcasse lo spirito che aleggiava in quelle pagine ingiallite, cercando di sintetizzare i concetti teorici per dar maggior spazio alle tecniche di risoluzione, facendo tesoro dell'esperienza maturata negli anni e legata alla creazione di fogli di calcolo, ho cercato (senza esserci sempre riuscito) di realizzare un testo che possedesse “un ordine” logico atto a facilitare e stimolare l'implementazione delle numerose formule, sovente complesse, all'interno di software di calcolo. Nascono in questo modo le cosiddette “schede tecniche” di cui il manuale è ricco, nelle quali viene dato un ordine alle procedure espresse nei testi normativi, troppo spesso confusionari e colmi di rimandi che ne rendono farraginoso l'esecuzione. Ad esse ho in molti casi associato le “applicazioni numeriche”, volte a dare immediata evidenza pratica a sostegno e spiegazione degli aspetti puramente teorici.

Il risultato di questi sforzi di sintesi, uniti ai tempi stretti di redazione, hanno necessariamente portato a tralasciare alcuni argomenti di grande importanza quali l'instabilità a taglio delle travi a “parete piena” e gli aspetti legati alla fatica o alla dinamica delle strutture in acciaio. Mi scuso pertanto con quella cerchia di lettori che avrebbe avuto il piacere di

sfogliare un manuale veramente completo che possedesse il pregio di toccare tutti i grandi temi legati alla progettazione delle strutture metalliche, sperando tuttavia in una seconda possibilità editoriale che permetta di “colmare i vuoti”.

Nella stesura del testo ho cercato di citare le fonti di immagini e procedure numeriche di risoluzione ogni qualvolta mi sia stato possibile recuperarne la paternità certa, restano tuttavia alcune inevitabili lacune delle quali mi scuso anticipatamente.

Concludo con la speranza che il mio sforzo si possa tradurre in una lettura piacevole ed interessata sia da parte degli studenti di Ingegneria ed Architettura, sia da parte di tecnici e professionisti che posseggano ancora “il gusto difficile” di non smettere mai di voler apprendere.

Simone Caffè

PROPRIETÀ DEGLI ACCIAI E CARATTERISTICHE MECCANICHE DELLE SEZIONI

› 1.1. Proprietà degli Acciai

Gli “acciai” sono particolari leghe di ferro e carbonio che si distinguono le une dalle altre in funzione della loro composizione chimica e, in particolare, della percentuale C di carbonio (o tenore di carbonio) presente nel materiale.

Il carbonio aumenta considerevolmente le caratteristiche di resistenza degli acciai, ma ne riduce sensibilmente la duttilità ovvero la capacità di manifestare grandi deformazioni plastiche prima di giungere a rottura. In particolare, per la progettazione sismica, il requisito di duttilità è di grande importanza perché legato alle ipotesi di base dei metodi allo stato limite ultimo e dell’analisi limite oltre che alla risposta globale di un edificio nei confronti delle forze orizzontali ed in particolare degli effetti del sisma.

Per queste ragioni gli acciai da carpenteria per costruzioni civili ed industriali sono caratterizzati da un basso tenore di carbonio (C compreso tra 0.1% e 0.3%) e il controllo del tenore di carbonio è specificato dalle norme.

Oltre al carbonio sono solitamente presenti il manganese, il silicio e in taluni casi, il cromo ed il nichel. In generale questi elementi servono a garantire un aumento delle caratteristiche meccaniche, di saldabilità e di resistenza alla corrosione.

La legge costitutiva dell’acciaio viene comunemente descritta sottoponendo un provino in acciaio avente dimensioni standardizzate, ad una prova di trazione monoassiale. La prova consente di ricavare la curva carico-allungamento dalla quale, note le caratteristiche della macchina di prova e la geometria del provino, sono deducibili i diagrammi tensione (σ) – deformazione (ϵ).

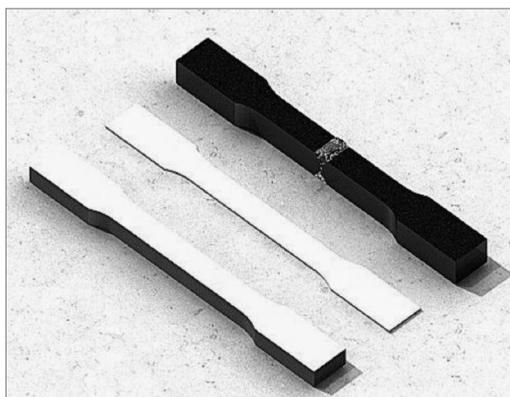


Figura 1.1. Tipologie dei provini per le prove di trazione monoassiale
[fonte: <http://www.genesisgroup.com>]

Risulta infatti:

$$F = E \cdot S_0 \cdot \varepsilon = E \cdot S_0 \cdot \frac{L_u - L_0}{L_0} \quad (1.1)$$

dove:

F rappresenta la forza di trazione applicata al provino;

S_0 rappresenta l'area nominale del provino;

L_u rappresenta la distanza ultima tra i riferimenti presi sul provino;

L_0 rappresenta la distanza iniziale tra i riferimenti presi sul provino.

La distanza iniziale L_0 può essere assunta convenzionalmente pari a:

$$L_0 = 5.65 \cdot \sqrt{S_0} \quad (1.2)$$

Le modalità di prova sono descritte nella norma UNI EN 10002-1 (CEN, 2001).

In funzione dei risultati derivanti dalla suddetta prova, si ricavano i diagrammi tensione-deformazione per gli acciai extra-dolci, semi-duri ed extra-duri.

Acciai extra-dolci e semi-duri

Il diagramma $\sigma - \varepsilon$ tipico degli acciai extra-dolci e semi-duri è riportato nella figura 1.2:

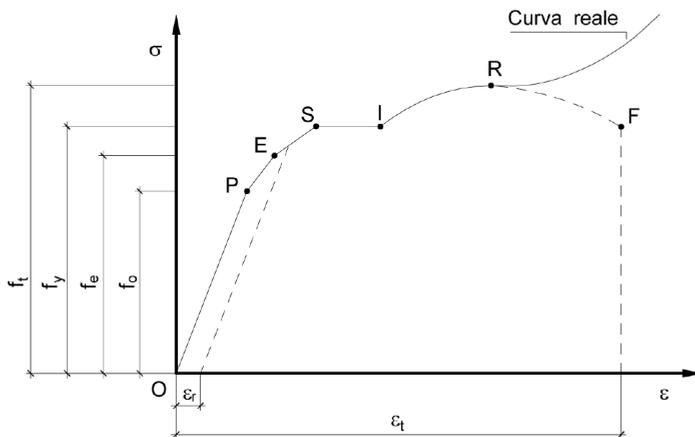


Figura 1.2. Diagramma sforzi-deformazioni per gli acciai extra-dolci e semi-duri
[fonte: Ballio G., Mazzolani F., *Strutture in Acciaio*, Hoepli]

Tratto OP (da zero al limite di proporzionalità)

In questo tratto il comportamento del materiale è perfettamente elastico, le tensioni crescono dal valore nullo fino al valore f_0 detto “limite di proporzionalità”.

Il legame sforzi-deformazioni è lineare e la pendenza della retta è definita dal modulo di elasticità normale o modulo di Young:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (1.3)$$

Tratto PE (dal limite di proporzionalità al limite di elasticità)

Il comportamento del materiale è ancora elastico (ovvero una volta scaricato il provino, la deformazione residua ε_r è pari a zero), ma non lineare e definito dal modulo istantaneo detto “modulo tangente”:

$$E_t = \frac{d\sigma}{d\varepsilon} \quad (1.4)$$

Le tensioni variano tra il valore f_0 ed il valore f_e detto “limite di elasticità”.

Tratto ES (dal limite di elasticità al limite di snervamento)

Il comportamento del materiale non è più elastico ovvero una volta scaricato il provino, permane una deformazione residua ε_r . Le tensioni variano tra il valore f_e ed il valore f_y detto “valore di snervamento” (“yield” in lingua inglese).

Tratto SI (dal limite di snervamento al limite di incrudimento)

Raggiunto il valore f_y , gli acciai extra-dolci manifestano un allungamento spontaneo senza incrementi di tensione fino a raggiungere l’inizio del fenomeno di incrudimento.

Tratto IR (dal limite di incrudimento al limite di rottura)

L’incrudimento si manifesta con una ripresa di resistenza del materiale le cui tensioni aumentano dal valore f_y fino al valore limite di rottura f_t (punto massimo del diagramma).

Tratto RF (dal limite di rottura al raggiungimento dell’allungamento ultimo)

Raggiunto il valore f_t il diagramma tensioni-deformazioni presenta un tratto discendente detto rammollente di “softening, fino a raggiungere l’allungamento ultimo di rottura ε_t corrispondente all’effettiva rottura del provino.

Va precisato che la risposta nel tratto RF corrisponde al fenomeno fisico denominato “strizione” per il quale gli incrementi deformativi si localizzano in una porzione limitata del provino determinandone una sensibile riduzione della sezione. Al fenomeno della strizione è associata la perdita di uniformità della tensione effettiva lungo il provino con conseguente perdita di monoassialità nella porzione soggetta a strizione. L’andamento decrescente del tratto RF non è più quindi direttamente correlabile ad una tensione nominale significativa del provino e non corrisponde all’andamento locale della tensione effettiva che continua invece a crescere.

Acciai extra-duri

Il diagramma $\sigma - \varepsilon$ tipico degli acciai extra-duri è riportato nella figura 1.3.

In questo caso non si rileva il tratto a tensione costante detto “plateau” corrispondente allo snervamento del materiale, tipico degli acciai extra-dolci. In assenza di un definito valore di snervamento si assume convenzionalmente un limite di elasticità, detto di “sco-

stamento dalla proporzionalità”, generalmente pari al valore di tensione cui corrisponde una deformazione residua ε_r pari allo 0.1%¹.

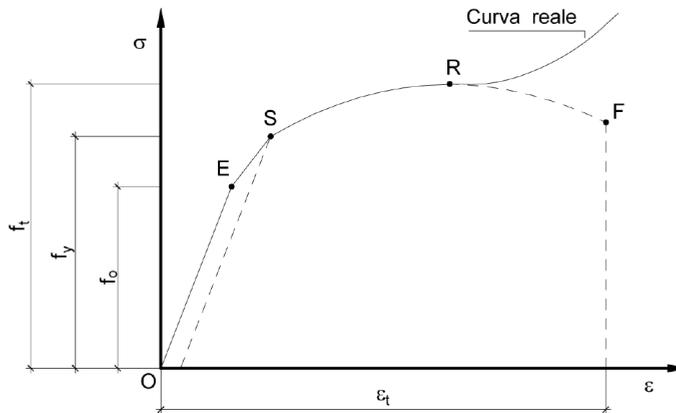


Figura 1.3. Diagramma sforzi-deformazioni per gli acciai extra-duri

Nella pratica progettuale la risposta monoassiale dell'acciaio per carpenteria è descritta da un diagramma semplificato del tipo “elastico – perfettamente plastico”, caratterizzato da un tratto lineare che si estende fino alla deformazione di snervamento ε_y , seguito, al crescere della deformazione, da un tratto a tensione costante fino alla deformazione di rottura ε_t .

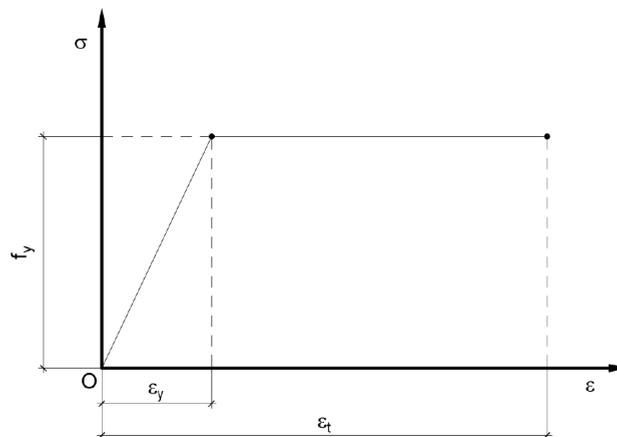


Figura 1.4. Modello costitutivo Elastico – Perfettamente plastico

Tutti gli acciai per carpenteria metallica e per strutture composte acciaio-calcestruzzo devono essere conformi alle norme armonizzate della serie UNI EN 10025 (per i laminati), UNI EN 10210 (per i tubi senza saldatura) e UNI EN 10219-1 (per i tubi saldati).

¹ Ballio G., Mazzolani F., *Strutture in Acciaio*, Hoepli.

In sede di progetto le Norme assumono convenzionalmente i seguenti valori nominali delle proprietà del materiale:

Modulo elastico: $E = 210000 \text{ N/mm}^2$

Modulo di taglio: $G = \frac{E}{[2 \cdot (1 + \nu)]} = 80770 \text{ N/mm}^2$

Coefficiente di Poisson: $\nu = 0.30$

Coefficiente di espansione termica: $\alpha = 12 \cdot 10^{-6} \frac{1}{^\circ\text{C}}$

Peso specifico: $\gamma_{\text{steel}} = 78.50 \text{ kN/m}^3$

In funzione dello “spessore nominale t ”, per gli acciai di cui alle norme UNI EN 10025, UNI EN 10210, e UNI EN 1021-1 si possono assumere nei calcoli i valori nominali delle tensioni caratteristiche di snervamento f_{yk} (f_y nell’Eurocodice 3) e di rottura f_{tk} (f_u nell’Eurocodice 3) delle tabelle 1.I ed 1.II:

Norme e qualità degli acciai		Spessore nominale dell'elemento			
		$t \leq 40 \text{ mm}$		$40 \text{ mm} < t \leq 80 \text{ mm}$	
		f_{yk}	f_{tk}	f_{yk}	f_{tk}
UNI EN 10025-2	S 235	235	360	215	360
	S 275	275	430	255	410
	S 355	355	510	335	470
	S 450	440	550	420	550
UNI EN 10025-3	S 275 N/NL	275	390	255	370
	S 355 N/NL	355	490	335	470
	S 420 N/NL	420	520	390	520
	S 460 N/NL	460	540	430	540
UNI EN 10025-4	S 275 M/ML	275	370	255	360
	S 355 M/ML	355	470	335	450
	S 420 M/ML	420	520	390	500
	S 460 M/ML	460	540	430	530
UNI EN 10025-5	S 235 W	235	360	215	340
	S 355 W	355	510	335	490

Tabella 1.I. Laminati a caldo con profili a sezione aperta

Norme e qualità degli acciai		Spessore nominale dell'elemento			
		$t \leq 40$ mm		$40 \text{ mm} < t \leq 80$ mm	
		f_{yk}	f_{tk}	f_{yk}	f_{tk}
UNI EN 10210-1	S 235 H	235	360	215	340
	S 275 H	275	430	255	410
	S 355 H	355	510	335	490
	S 275 NH/NLH	275	390	255	370
	S 355 NH/NLH	355	490	335	470
	S 420 NH/NLH	420	540	390	520
	S 460 NH/NLH	460	560	430	550
UNI EN 10219-1	S 235 H	235	360		
	S 275 H	275	430		
	S 355H	355	510		
	S 275 NH/NLH	275	370		
	S 355 NH/NLH	355	470		
	S 275 MH/MLH	275	360		
	S 355 MH/MLH	355	470		
	S 420 MH/MLH	420	500		
S 460 MH/MLH	460	530			

Tabella 1.II. Laminati a caldo con profili a sezione cava

La nomenclatura utilizzata nelle tabelle 1.I e 1.II deriva dall'applicazione della norma UNI EN 10027-1:2006 in merito alla designazione degli acciai.

Solitamente si adottano i seguenti principi di designazione alfanumerica:

1° simbolo: *lettera che distingue gli acciai in funzione del loro utilizzo:*

- B** acciai per calcestruzzo armato;
- D** acciai prodotti piani per formatura a freddo;
- H** acciai ad alta resistenza;
- S** acciai per impieghi strutturali;
- Y** acciai per calcestruzzo armato precompresso.

2° simbolo: *numero che indica il carico unitario di snervamento minimo espresso in N/mm^2 in funzione dello spessore "t":*

- 235** $f_{yk} = 235 \text{ N/mm}^2$;
- 275** $f_{yk} = 275 \text{ N/mm}^2$;
- 355** $f_{yk} = 355 \text{ N/mm}^2$;
- 420** $f_{yk} = 420 \text{ N/mm}^2$;
- 450** $f_{yk} = 450 \text{ N/mm}^2$;
- 460** $f_{yk} = 460 \text{ N/mm}^2$.