

A close-up photograph of a metal bending process. A large, dark metal beam is being bent by a die. The die is a large, blue-painted metal structure with a semi-circular opening. The beam is being pushed into the die, and the metal is being bent around the curve. The background is a blurred industrial setting with various metal parts and bolts.

**HARDOX<sup>®</sup>**

**WELDOX<sup>®</sup>**

**piega a freddo / cesoiatura**

**SSAB**  
OXELÖSUND

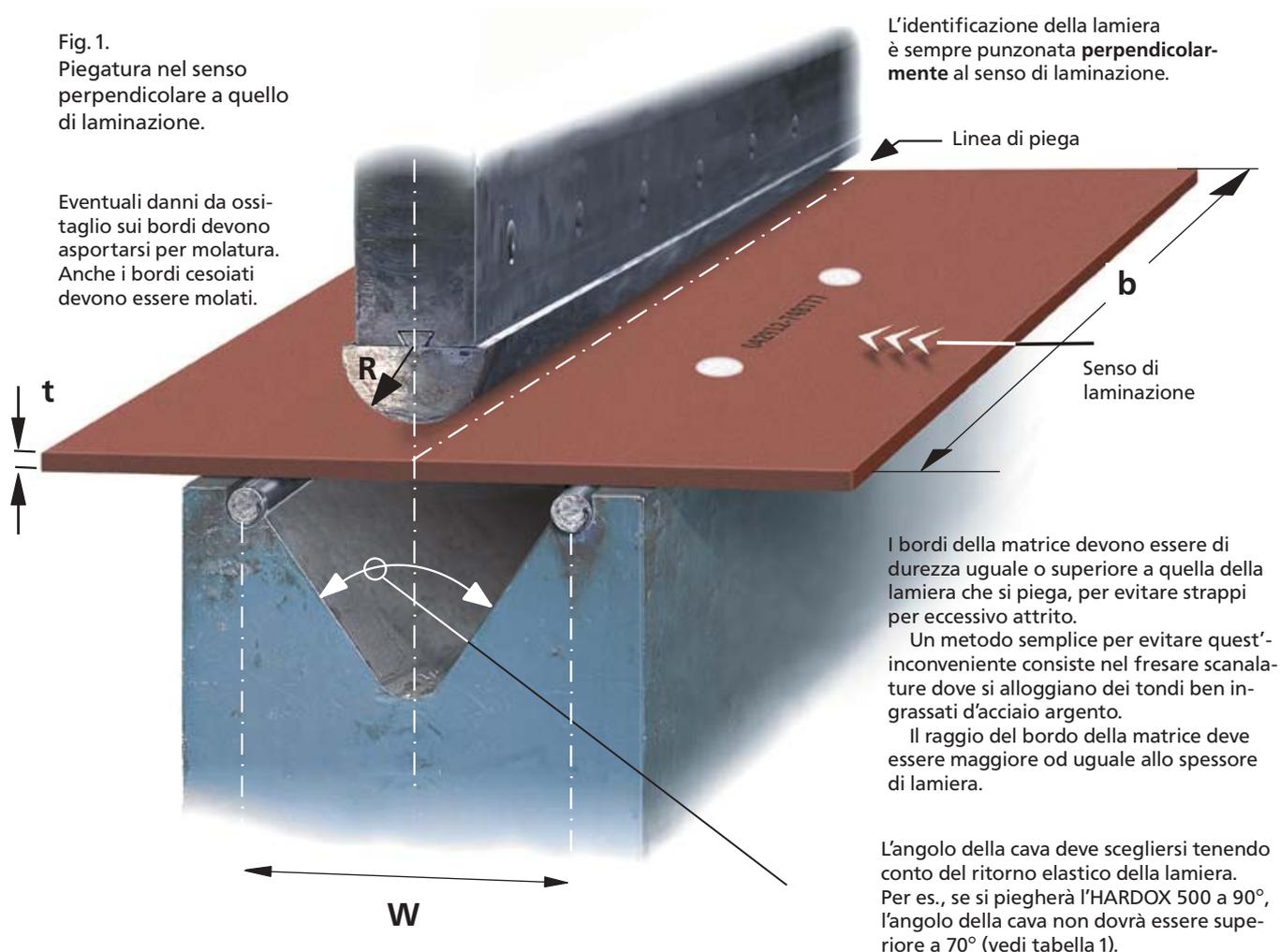
Questa brochure tratta i temi di piega libera e taglio con cesoia delle lamiere di acciaio antiusura HARDOX® e strutturale WELDOX®. In questi tipi di acciai abbiamo combinato alta resistenza con elevata purezza e tolleranze strette, proprietà che rendono queste lamiere eccellenti per la piega a freddo.

Si danno in seguito le raccomandazioni per ottenere i migliori risultati coi nostri acciai antiusura e strutturali.

## Piegatura a freddo

In questo paragrafo si tratta la cosiddetta piegatura libera, anche se la lamiera può anche essere piegata in una calandra. Il risultato della piegatura dipende da una serie di fattori che abbiamo raggruppato sotto tre titoli: la lamiera, la piegatrice e l'esecuzione della piega. Nelle pagine 3 e 4 discuteremo questi tre fattori e presenteremo, inoltre, un paio d'esempi di calcolo.

I valori tipici di proprietà meccaniche delle lamiere sono riportati sulla tabella 4 dell'ultima pagina.



## Il risultato della piega dipende dalla lamiera, dalla piegatrice e dall'esecuzione della piegatura :

### LA LAMIERA

#### – Tipo d'acciaio

Bisogna tenere in conto che la forza di piega ed il ritorno elastico aumentano con la resistenza della lamiera (vedi valori tipici di carico di rottura sulla tabella 4).

Cioè, quanto più resistente (dura) è la lamiera maggiore sarà...

- la forza di piega richiesta
- il ritorno elastico
- il raggio del punzone da utilizzare
- la larghezza della matrice

#### – La superficie della lamiera

Le nostre raccomandazioni si applicano a lamiere sabbiate e verniciate con vernice anticorrosiva. Se invece la lamiera presenta una superficie pulita di laminazione potrà effettuarsi una piegatura un po' più severa. La presenza di danni superficiali e ruggine sulla lamiera diminuisce notevolmente la piegabilità. In casi critici si dovranno eliminare questi difetti per molatura.

#### – I bordi della lamiera

Bordi ossitagliati o cesoiati devono essere leggermente smussati con una mola.

#### – Lo spessore di lamiera (t)

In generale, una lamiera sottile permette minori raggi di piega di una lamiera di maggiore spessore. Vedi tabella 1.

#### – Il senso di laminazione della lamiera

Nel senso perpendicolare a quello di laminazione, la lamiera ammette una piegatura più severa che nel senso parallelo. Vedi figura 1 e tabella 1.

#### – La lunghezza di piega (b)

Se la lunghezza di piega è minore di 10 volte lo spessore, la lamiera ammetterà, a volte, condizioni di piegatura più severe di quelle indicate nella tabella 1.

### LA PIEGATRICE

#### – Raggio di punzone (R)

La scelta del raggio di punzone adeguato è la più importante nella piegatura di HARDOX e WELDOX, vedi figura 1.

Per gli acciai più blandi del gruppo – fino al WELDOX 500 – si raccomanda usare un raggio di punzone uguale o leggermente minore del raggio di piega che si desidera ottenere.

Per il resto degli acciai considerati, più resistenti (duri), si raccomanda usare un raggio di punzone uguale o leggermente maggiore del raggio di piega che si desidera ottenere.

La tabella 1 indica i valori di raggio minimo di punzone per evitare cricatura in caso di piegatura a 90°.

cont. ▷

Tabella 1.

Valori minimi raccomandati per il raggio di punzone (R) e la larghezza di matrice (W), in relazione allo spessore della lamiera (t) per piegatura a 90°, sia in senso parallelo che perpendicolare a quello di laminazione. La tabella riporta anche il valore indicativo del ritorno elastico.

	Spessore [mm]	Trasversale R/t	Parallelo R/t	Trasversale W/t	Parallelo W/t	Ritorno elastico [°]
<b>S355 secondo EN10025</b>		2,5	3,0	7,5	8,5	3-5
<b>EUROX 355</b>		1,0	1,5	6,0	7,5	3-5
<b>WELDOX 420/500</b>		1,0	1,5	6,0	7,5	3-6
<b>WELDOX 700</b>	t < 8	1,5	2,0	7,0	8,5	6-10
	8 ≤ t < 20	2,0	3,0	7,0	8,5	
	t ≥ 20	3,0	4,0	8,5	10,0	
<b>WELDOX 900/960</b>	t < 8	2,5	3,0	8,5	10,0	8-12
	8 ≤ t < 20	3,0	4,0	8,5	10,0	
	t ≥ 20	4,0	5,0	10,0	12,0	
<b>WELDOX 1100 *</b>	t < 8	3,5	4,0	10,0	10,0	11-18
	8 ≤ t < 20	4,0	5,0	10,0	12,0	
	t ≥ 20	5,0	6,0	12,0	14,0	
<b>HARDOX 400</b>	t < 8	2,5	3,0	8,5	10,0	9-13
	8 ≤ t < 20	3,0	4,0	10,0	10,0	
	t ≥ 20	4,5	5,0	12,0	12,0	
<b>HARDOX 450 *</b>	t < 8	3,5	4,0	10,0	10,0	11-18
	8 ≤ t < 20	4,0	5,0	10,0	12,0	
	t ≥ 20	5,0	6,0	12,0	14,0	
<b>HARDOX 500 *</b>	t < 8	4,0	5,0	10,0	12,0	12-20
	8 ≤ t < 20	5,0	6,0	12,0	14,0	
	t ≥ 20	7,0	8,0	16,0	18,0	

\*) In caso di piegatura di HARDOX 450, HARDOX 500 e WELDOX 1100 si deve osservare speciale precauzione a causa dell'alta resistenza della lamiera e dell'elevata forza di piega richiesta. In caso di cricatura della lamiera, esiste il rischio che frammenti di materiale siano espulsi nella direzione della linea di piega. Pertanto, durante il lavoro di piegatura, l'operatore ed altro personale dovranno collocarsi a fianco della piegatrice – e non davanti.

## LA PIEGATRICE ( cont.)

### – Larghezza di matrice (W)

La tabella 1 indica il minimo valore di larghezza di matrice raccomandato al fine di minimizzare il ritorno elastico. Infatti, se si aumenta la larghezza di matrice, diminuisce la forza di piega richiesta e si producono meno impronte sulla superficie della lamiera – ma, in contropartita aumenta il ritorno elastico.

È da notare che l'angolo di cava della matrice deve essere sufficientemente piccolo da permettere il ritorno elastico necessario, vedi figura 1 e tabella 1. In caso di calandratura, il ritorno elastico è notevolmente superiore a quello indicato nella tabella.

## L'ESECUZIONE DELLA PIEGATURA

### – Attrito

I bordi della matrice devono essere puliti ed esenti da danni. Usando tondi girevoli come bordi di matrice – o/ed ingrassando i bordi – diminuiscono sia la forza di piega sia il rischio di cricatura.

### – Angolo di piega

Le raccomandazioni della tabella 1 si applicano a lavori in cui si deve piegare il pezzo a 90°. In caso di piega ad un angolo minore, si potrà usare un punzone con raggio minore a quello indicato dalla tabella.

È da notare che, in termini di forza di piega e ritorno elastico, l'angolo di piegatura è un fattore meno importante della larghezza della matrice e della qualità (grado) d'acciaio.

Per compensare il ritorno elastico, si piega la lamiera con un eccesso d'uguale entità.

### – Forza di piega (P)

La forza di piega richiesta può essere valutata con la formula sotto. La forza si ottiene in tonnellate (1 tonnellata equivale a 10 kN), con una precisione di ± 20%, se si usa mm come unità di lunghezza. Vedi nome di parametri nella figura 1 e valori di carico di rottura della lamiera nella tabella 4.

$$P = \frac{1,6 \times b \times t^2 \times R_m}{10000 \times W}$$

Se si usano punzoni di raggio notevolmente maggiore di quelli indicati nella tabella 1, aumenterà la forza richiesta – comparata con quella della formula – a meno di aumentare la larghezza della matrice nella stessa proporzione.

### Esempio 1:

Una piegatrice dispone di capacità sufficiente per piegare una lamiera d'acciaio S 355 di 20 mm di spessore, con una matrice di larghezza 150 mm.

Usando la stessa matrice e mantenendo la lunghezza di piega, quale sarà lo spessore (t) massimo di lamiera HARDOX 400 che la piegatrice potrà piegare?

Vale a dire, la forza di piega è la stessa. L'unico che cambia è lo spessore di lamiera (t) ed il carico di rottura ( $R_m$ ). Applicando la formula, si ottiene:

$$20^2 \times 550 = t^2 \times 1250$$

La piegatrice disporrà di una capacità per piegare HARDOX 400 di 13,3 mm.

Il quoziente  $W/t$  per HARDOX 400 è, in quest'esempio,  $150/13,3=11,3$  che è un valore adeguato secondo la tabella 1.

### Esempio 2:

Si deve fabbricare una mensola di scarico piegata di 2000 mm di lunghezza. Si deve quindi scegliere fra usare:

- a) una lamiera di 10 mm di spessore d'acciaio S355, con carico di rottura tipico di  $550 \text{ N/mm}^2$ , od
- b) una lamiera di 7 mm di spessore di WELDOX 700, con carico di rottura tipico di  $860 \text{ N/mm}^2$ .

In entrambi i casi si pensa utilizzare una matrice esistente, di larghezza 100 mm. Che forza di piega si richiede in entrambi i casi?

Per l'S355 abbiamo:

$$P = \frac{1,6 \times 2000 \times 10 \times 10 \times 550}{10000 \times 100} = 176 \text{ tonnellate}$$

Per il WELDOX 700:

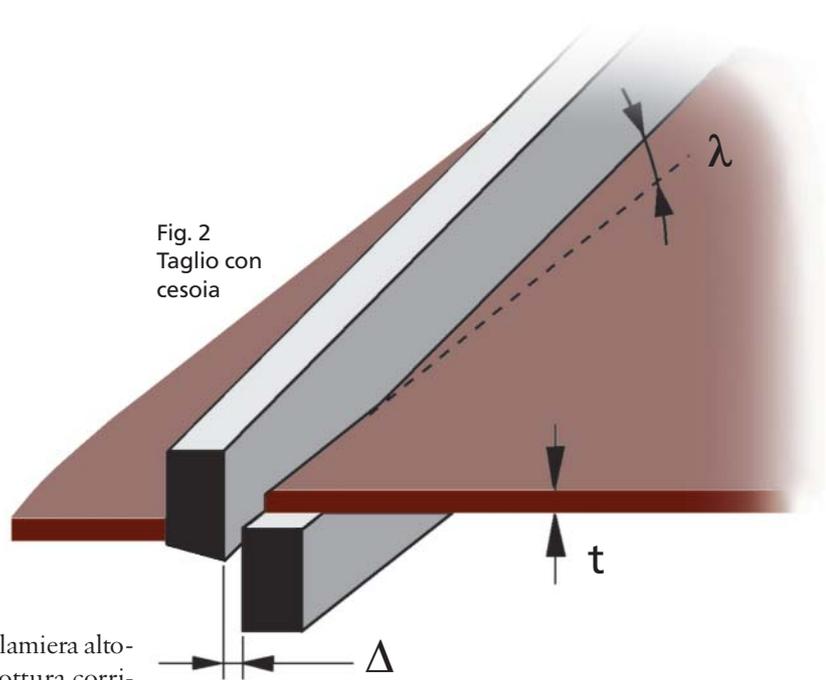
$$P = \frac{1,6 \times 2000 \times 7 \times 7 \times 860}{10000 \times 100} = 135 \text{ tonnellate}$$

Dato che lo spessore di lamiera esercita un'influenza maggiore della resistenza, in questo caso si richiede minore forza per piegare la lamiera WELDOX!

	Spessore di lamiera, mm			
	10	20	30	60
S 355 / EUROX 355	10	20	30	60
WELDOX 700	8	16	24	48
WELDOX 900/960	7	14	21	42
HARDOX 400	6	13	19	38
	↓	↓	↓	↓
Forza di piega per metro, [tonnellate]	120	240	330	660
... per larghezza di matrice (W), [mm]	75	150	240	480

Tabella 2.  
Spessori di lamiera che richiedono la stessa forza di piega per metro di lunghezza piegata – con le larghezze di matrice indicate (W).

Fig. 2  
Taglio con  
cesoia



## Cesoia

Il taglio con cesoia è un metodo adatto anche per lamiera alto-resistenziale. In generale, a maggior carico di rottura corrisponde maggiore forza di taglio richiesta. Anche l'usura degli utensili di taglio aumenta con l'aumentare del carico di rottura della lamiera, per cui non raccomandiamo il taglio con cesoia a partire dalle qualità WELDOX 1100, HARDOX 450 in su.

Per un risultato di taglio soddisfacente in una lamiera ad alta resistenza, occorre una cesoia robusta ed in buono stato ed un corretto aggiustaggio dei parametri di lavoro. Si noti che i nostri suggerimenti d'aggiustaggio sono solo raccomandazioni generali. Nella pratica, l'aggiustaggio adeguato deve essere determinato in base alla rigidità della cesoia ed allo stato della lama.

### Acciaio della lama

L'acciaio della lama deve essere duro e presentare bordi di taglio ben affilati ma leggermente smussati con la mola.

### Interspazio, $\Delta$

È il parametro più importante per ottenere un buon risultato. La distanza fra le lame mobile e fissa deve essere aumentata coll'aumentare del carico di rottura della lamiera da tagliare - vedi la tabella 3. Un interspazio incorretto produce superfici di taglio deteriorate e può causare cricatura nei successivi lavori di saldatura o piegatura.

### Angolo di taglio, $\lambda$

All'aumentare dell'angolo di taglio, diminuisce la forza di taglio richiesta - ma al tempo stesso aumenta il rischio che la lamiera slitti via e che il pezzo tagliato si deformi (diventi torto). In generale, la lamiera ad alta resistenza deve essere tagliata con un angolo di taglio maggiore, vedi figura 2 e tabella 3 sotto.

### Forza di taglio, P

La forza di taglio aumenta linearmente con la resistenza della lamiera, ad angolo di taglio costante, vedi figura 3 e tabella 4.

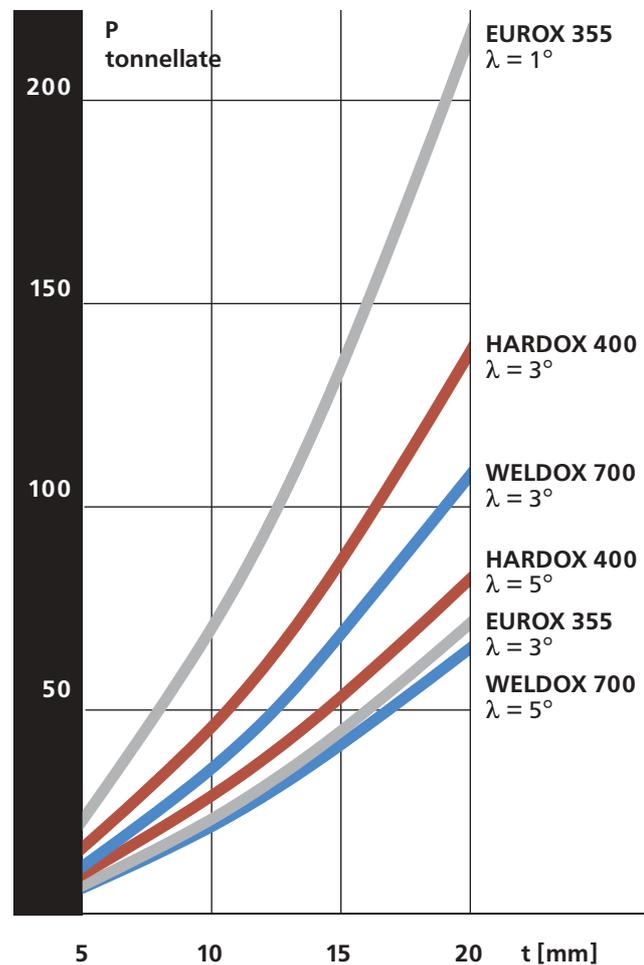


Fig. 3 Forza di taglio per diversi spessori ed angoli di taglio  $\lambda$

Tabella 3  
Aggiustaggio della distanza e dell'angolo di taglio per diverse qualità d'acciaio

	Interspazio, $\Delta$ in % di t	Angolo di taglio, $\lambda$ [°]
EUROX 355	8-10	1-5
WELDOX 420	8-10	1-5
WELDOX 500	9-12	2-5
WELDOX 700	12-15	3-5
WELDOX 900	14-16	3-5
WELDOX 960	14-16	3-5
HARDOX 400	16-18	3-5

Tabella 4.  
Valori tipici di proprietà meccaniche.

	Carico di rottura R <sub>m</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	Allungamento A <sub>5</sub> [%]	Durezza [HBW]
<b>S355 secondo EN10025</b>	550	28	~ 180
<b>EUROX 355</b>	525	28	~ 170
<b>WELDOX 420</b>	550	23	~ 180
<b>WELDOX 500</b>	620	20	~ 200
<b>WELDOX 700</b>	860	17	~ 260
<b>WELDOX 900</b>	1030	15	~ 315
<b>WELDOX 960</b>	1050	15	~ 325
<b>WELDOX 1100</b>	1350	11	~ 430
<b>HARDOX 400</b>	1250	10	~ 400
<b>HARDOX 450</b>	1400	9	~ 450
<b>HARDOX 500</b>	1550	8	~ 500

Per ulteriori informazioni, contattare il nostro ufficio di Servizio Tecnico Clienti.

La brochure *Piega a freddo / Cesoiatura* appartiene ad una serie di stampati che presentano suggerimenti ed istruzioni su come lavorare con le lamiere HARDOX e WELDOX. Le altre sono *Saldatura e Lavorazione meccanica*. Richieda questi opuscoli al nostro ufficio di Market Communication.



SSAB Oxelösund AB  
SE-613 80 Oxelösund  
Svezia  
Tel. +46 155-25 40 00  
Fax +46 155-25 40 73  
www.ssabox.com

HARDOX LAMIERE S.r.L  
Interporto di Parma  
43010 LOC. BIANCONESE-FONTEVIVO (PR)  
Tel. 0521-61 88 23, 0521-61 88 24  
Fax. 0521-61 88 16