

Sviluppo delle lamiere

Per ottenere un prodotto finito di lamiera piegata
è fondamentale
calcolare lo sviluppo dell'elemento prima di essere piegato.
I CAD 3D usano il fattore neutro.

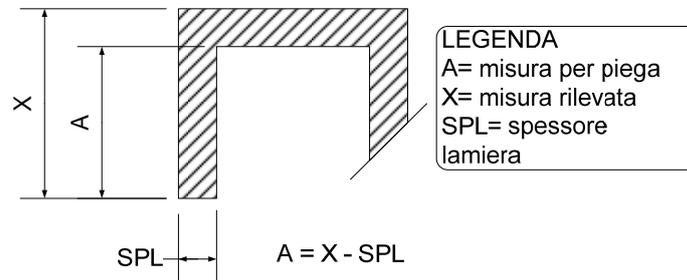
AUTORE: Graziano Bonetti

INDICE

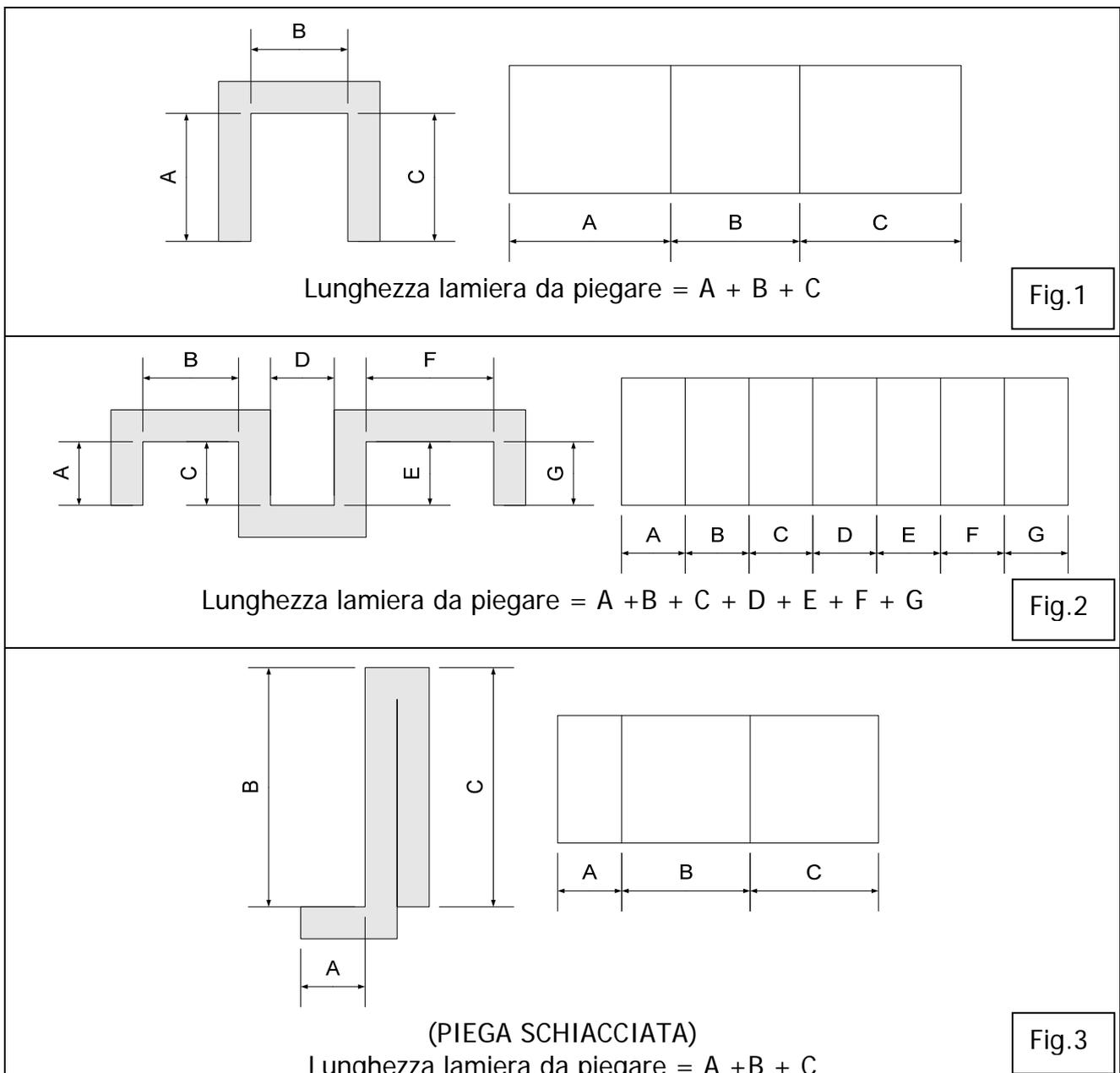
| | |
|---|----|
| Calcolo sviluppo delle lamiere (MODELLO SEMPLIFICATO) | 3 |
| Calcolo sviluppo delle lamiere (MODELLO FIBRA NEUTRA) | 5 |
| DETERMINAZIONE SPERIMENTALE di e | 6 |
| PUNTO D'INCONTRO (TRA I DUE MODELLI) | 8 |
| ANGOLO DI PIEGA IN UGS-NX | 10 |
| PIEGA SCHIACCIATA..... | 11 |
| CALANDRATURA | 12 |
| ALLUNGO LO SVILUPPO | 13 |
| ESEMPI | 14 |
| Piega a "Z" | 14 |
| Piega a "C" | 17 |
| Recupero di uno sviluppo..... | 18 |
| Piega schiacciata | 21 |
| Allungo | 23 |

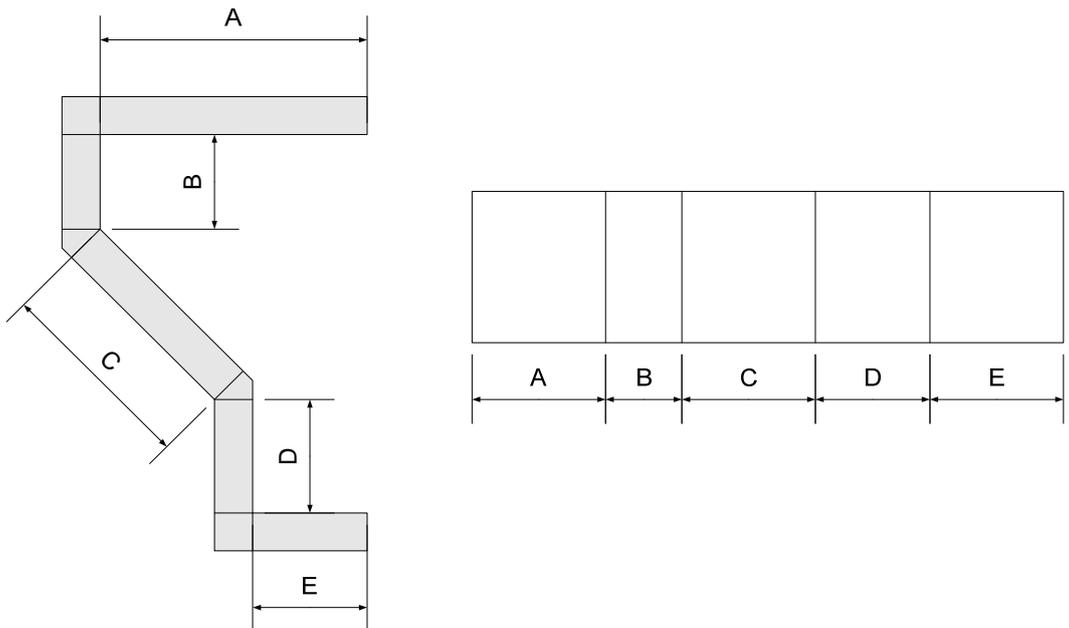
Calcolo sviluppo delle lamiere (MODELLO SEMPLIFICATO)

Un semplice modo per determinare lo sviluppo della lamiera piegata è riferirsi alle **misure interne**:



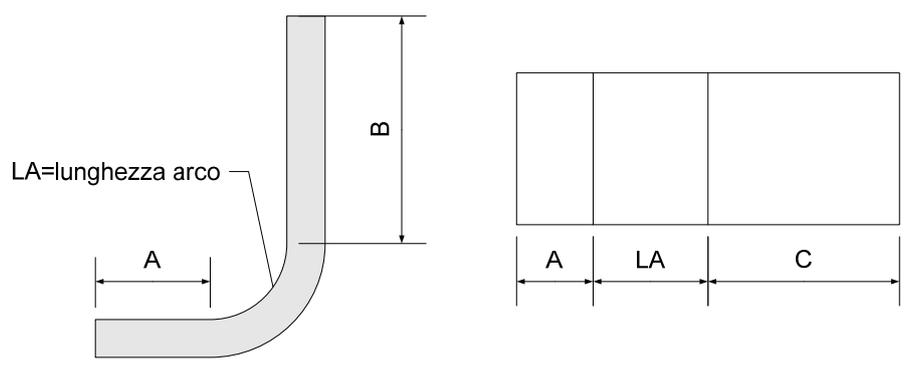
Possiamo fare alcuni esempi di sviluppo:





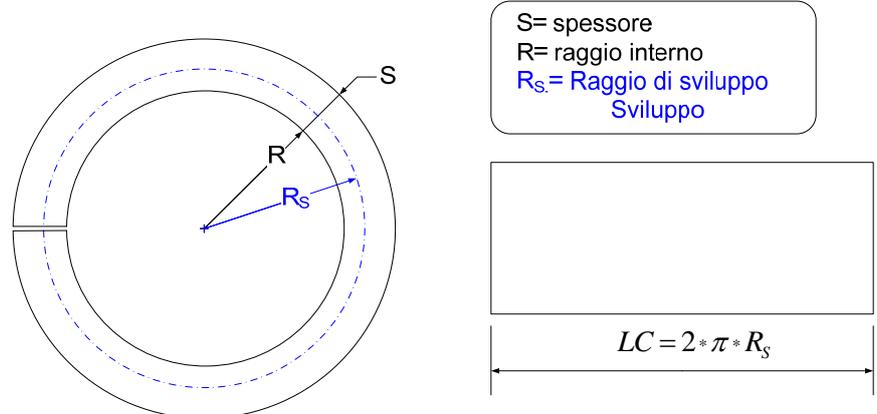
Lunghezza lamiera da piegare = $A + B + C + D + E$

Fig.4



Lunghezza lamiera da piegare = $A + LA + B$

Fig.5



S= spessore
 R= raggio interno
 R_s = Raggio di sviluppo
 Sviluppo

(CALANDRATURA)

Lunghezza lamiera da calandrare = $2 * \pi * R_s$, con $R_s = R * \frac{1}{3} S$

Fig.6

Calcolo sviluppo delle lamiere (MODELLO FIBRA NEUTRA)

Per avere un modello un po' più vicino a quella che è la realtà della piega, possiamo fare una considerazione: quando pieghiamo un elemento ci sarà una zona (dalla parte della curvatura) che si *comprimerà* ed una zona (dalla parte opposta) che andrà in *trazione*, come si può schematizzare in figura 7:

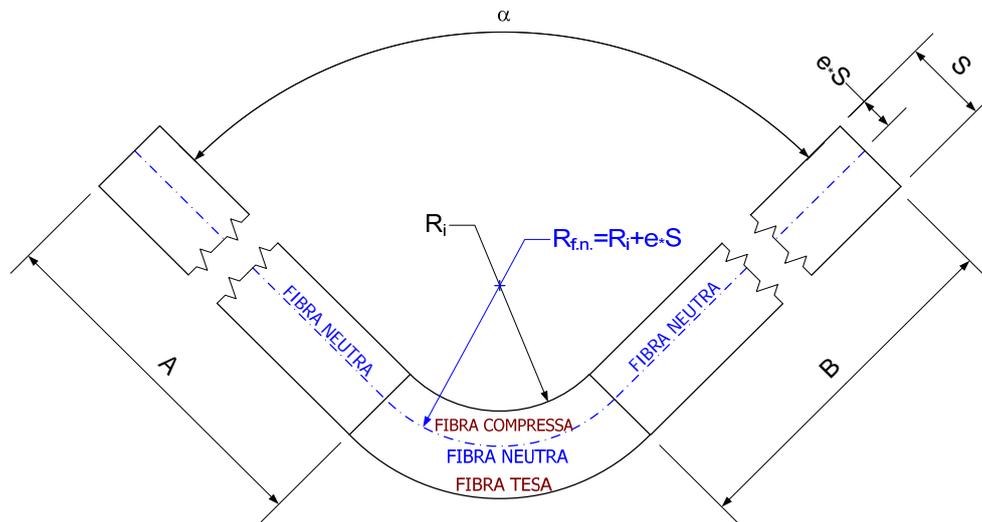


fig.7

Per semplicità il raggio interno R_i potrà essere considerato uguale al raggio di curvatura della lama di piega o dello spessore della lamiera.

Chiameremo FIBRA NEUTRA la zona di separazione tra le fibre in compressione da quelle in trazione. Tale fibra non subisce né trazione, né compressione (neutra appunto).

La fibra neutra, per il diverso comportamento reale dei materiali a trazione rispetto alla compressione (in campo plastico), abbandona nel corso della lavorazione la posizione iniziale di mezzeria e si sposta dalla parte delle fibre compresse.

Chiameremo e la distanza in percentuale di spessore della fibra neutra dalla parte della curvatura.

Es.: $e = 0.44 = 44\%$ significa che la fibra neutra è distante da R_i il 44% dello spessore. Il suo raggio sarà quindi $R_{f.n.} = R_i + e * S$.

Lo sviluppo L del pezzo, prima di essere piegato secondo l'angolo α (espresso in gradi) e il raggio di curvatura R_i , è pari allo sviluppo della fibra neutra:

$$SVILUPPO = L = A + B + (R_i + e * S) * RAD(\alpha) = A + B + (R_i + e * S) * \frac{\pi * \alpha}{180}$$

SPIEGAZIONE: Sarà pari a le due lunghezze rettilinee (A e B), più lo sviluppo dell'arco di cerchio della fibra neutra ($(R_i + e * S) * RAD(\alpha)$)

DETERMINAZIONE SPERIMENTALE di e

È sicuramente interessante calcolarsi il coefficiente e .

Possiamo farlo sperimentalmente.

Prendiamo una lamina lunga L e di spessore S .

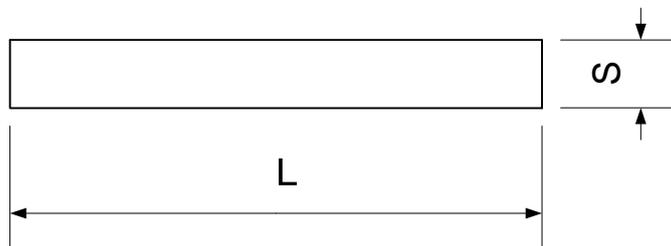


fig.8

La pieghiamo a 90° a metà della sua lunghezza con una lama che ha un raggio di curvatura R_i .

Otteniamo:

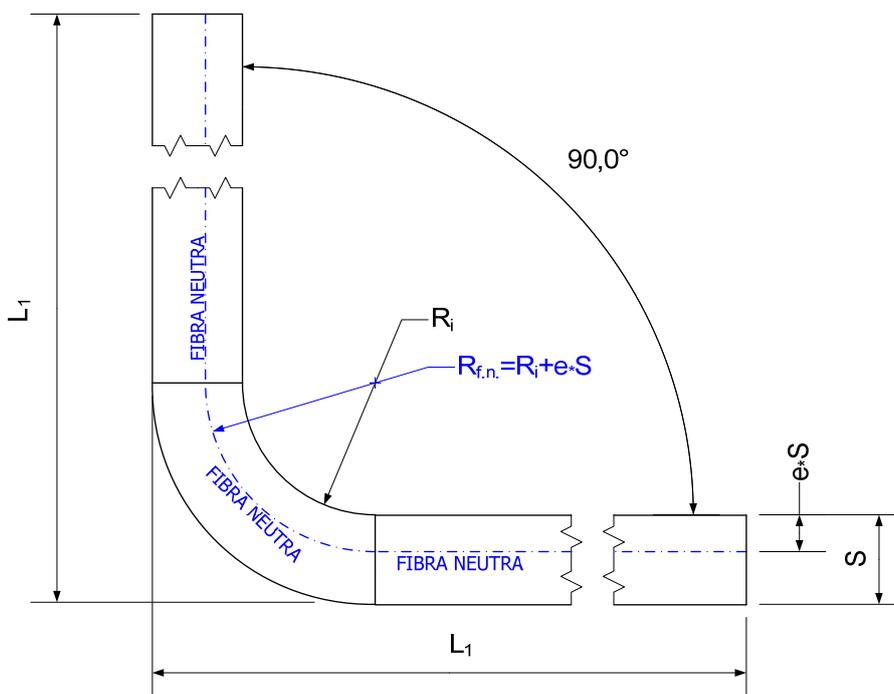


fig.9

Dato che la linea neutra rappresenta le fibre che non subiscono né trazione né compressione, tale linea è lunga quanto lo sviluppo della lamiera (infatti: non subisce tensioni \rightarrow non subisce deformazioni \rightarrow non cambia le sue dimensioni).

La lunghezza della fibra neutra sarà uguale alla lunghezza iniziale della lamiera (L).

Quindi:

$$L = (L_1 - R_i - S) + (R_i + e \cdot S) \cdot \text{RAD}(90) + (L_1 - R_i - S)$$

$$\text{RAD}(90) = \frac{\pi}{2} \rightarrow L = 2 \cdot (L_1 - R_i - S) + (R_i + e \cdot S) \cdot \frac{\pi}{2} \rightarrow L - 2 \cdot (L_1 - R_i - S) = (R_i + e \cdot S) \cdot \frac{\pi}{2}$$

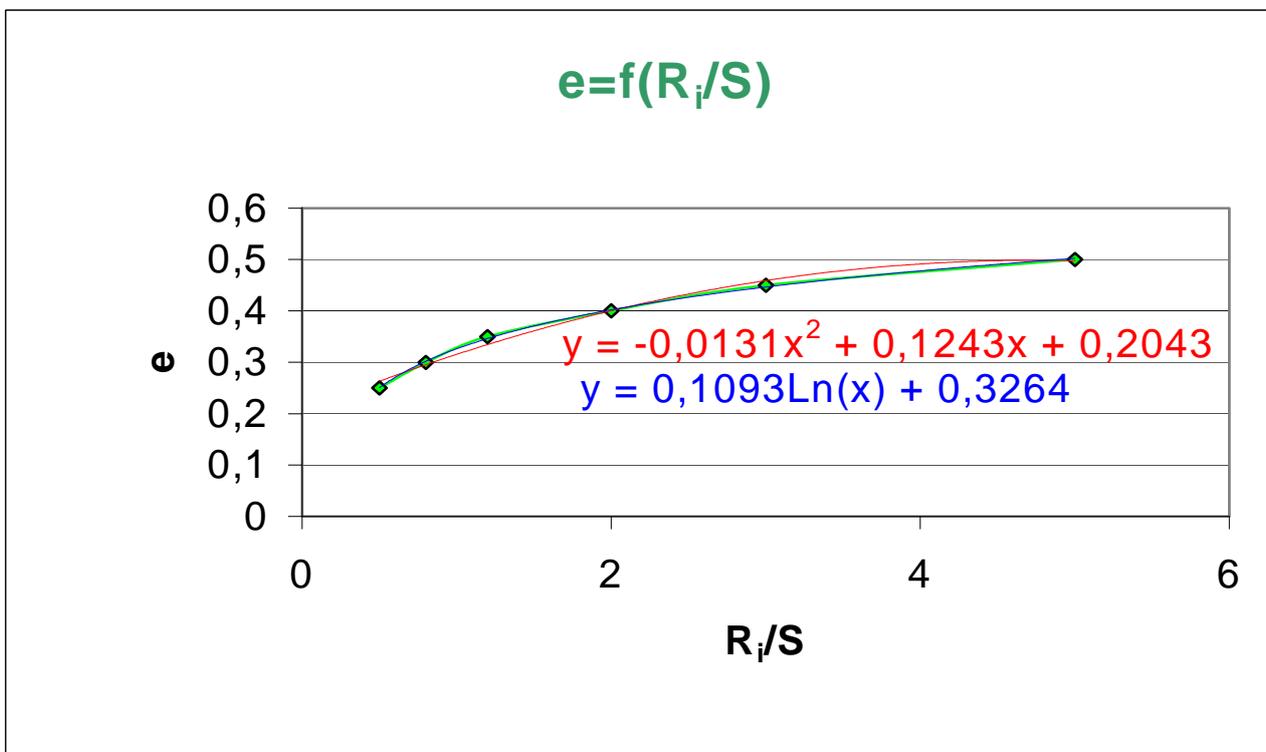
$$\frac{2}{S \cdot \pi} L - \frac{4}{S \cdot \pi} (L_1 - R_i - S) - \frac{R_i}{S} = e$$

Quindi:

$$e = 2 \cdot \frac{L - 2 \cdot (L_1 - R_i - S)}{S \cdot \pi} - \frac{R_i}{S} \quad (f.1)$$

Così avremmo una determinazione sperimentale del valore e .

In mancanza di questa sperimentazione potremmo utilizzare dei valori di e reperiti in internet espressi in funzione di R_i/S :



| | | | | | | |
|---------|-----|------|-----|------|-----|------|
| R_i/S | 5 | 3 | 2 | 1,2 | 0,8 | 0,5 |
| e | 0,5 | 0,45 | 0,4 | 0,35 | 0,3 | 0,25 |

fig.10

Nel grafico rappresentiamo sia i valori in tabella, che due funzioni interpolanti: un polinomio di secondo grado ed una funzione logaritmica.

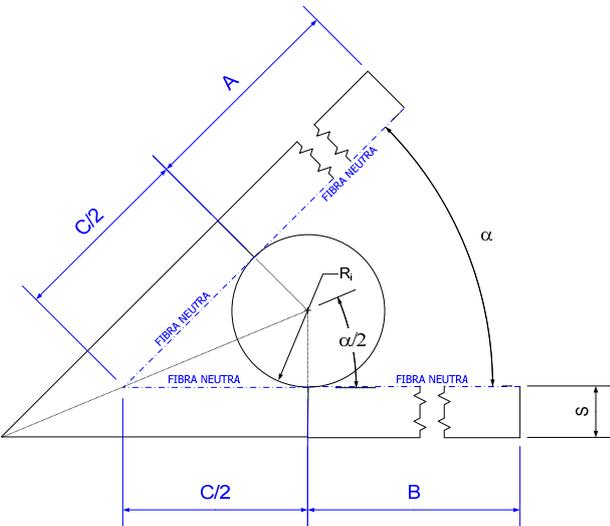
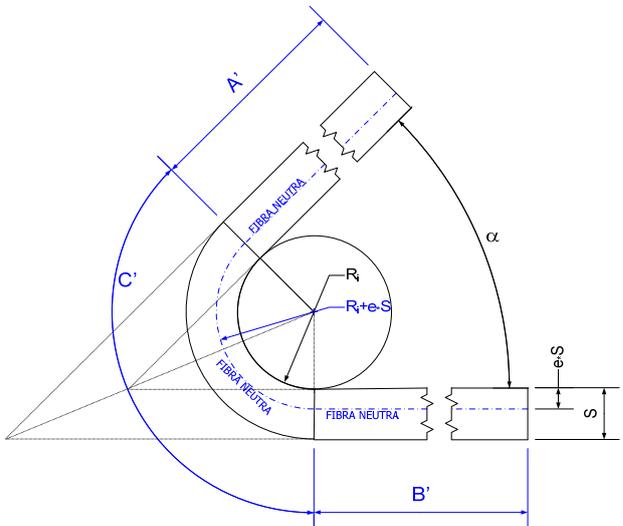
PUNTO D'INCONTRO (TRA I DUE MODELLI)

Quale potrebbe essere il valore da assegnare ad e affinché gli sviluppi fatti con il modello semplificato coincidano con quelli fatti dal modello a fibra neutra?

Come posso ottenere a ritroso dallo sviluppo fatto con il modello semplificato il lamierato 3D con le misure corrette?

Ecco alcune domande alle quali si potrebbe dare risposta trovando qual' è il punto d'incontro tra i due modelli.

Supponiamo quindi di avere una piega semplice (no calandratura o piega schiacciata) e rappresentiamo le pieghe nei due modelli:

| MODELLO SEMPLIFICATO | MODELLO FIBRA NEUTRA |
|--|---|
|  <p style="text-align: center;">fig.11</p> |  <p style="text-align: center;">fig.12</p> |
| SVILUPPO = $A + B + C$ | SVILUPPO = $A' + B' + C'$ |
| $A = A'$ $B = B'$ $C = 2 * \frac{R_i}{\tan\left(\frac{\alpha}{2}\right)}$ | $A' = A$ $B' = B$ $C' = (R_i + e * S) *_{RAD}(180 - \alpha)$ |

I due modelli si differenziano solo per la valutazione di "C".

Basterà quindi eguagliare le espressioni di "C" dei due modelli per trovare così l'espressione per calcolare il valore di e , che permette di uguagliare gli sviluppi nei due modelli.

$$C = 2 * \frac{R_i}{\tan\left(\frac{\alpha}{2}\right)} = (R_i + e * S) *_{RAD}(180 - \alpha) = C'$$

$$e = \frac{\left(2 * \frac{R_i}{\tan\left(\frac{\alpha}{2}\right)} \right) - R_i *_{RAD}(180 - \alpha)}{S *_{RAD}(180 - \alpha)} \rightarrow e = \left(\frac{2 * R_i}{S *_{RAD}(180 - \alpha) * \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right)} \right) - R_i$$

$$e = \frac{R_i}{S} * \left(\frac{2}{_{RAD}(180 - \alpha) * \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right)} - 1 \right) \quad (f.2)$$

NOTA: La formula è valida sia per α maggiore che minore di 90° .

Nel caso particolare, e più usato, in cui ho $\alpha = 90^\circ = \frac{\pi}{2}$ si avrà:

$$e = \frac{R_i}{S} * \left(\frac{2}{_{RAD}(180 - \alpha) * \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right)} - 1 \right) = \frac{R_i}{S} * \left(\frac{2}{_{RAD}(90^\circ) * \tan(45^\circ)} - 1 \right) = \frac{R_i}{S} * \left(\frac{2}{\frac{\pi}{2} * 1} - 1 \right) = \frac{R_i}{S} * \left(\frac{4}{\pi} - 1 \right)$$

$$e = \frac{R_i}{S} * \left(\frac{4 - \pi}{\pi} \right)$$

QUALE METODO HA UNO SVILUPPO MAGGIORE?

Se consideriamo una formula standard di NX con $e = 0.44$, possiamo vedere secondo quale modello lo sviluppo di lamiera sarà maggiore:

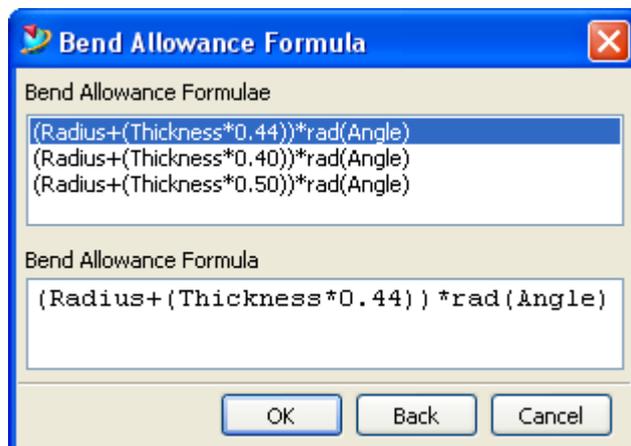
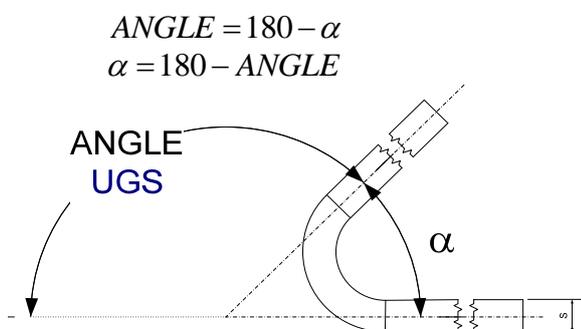
| S [mm] | R _i [mm] | α [°] | e |
|--------|---------------------|--------------|----------|
| 1 | 0,8 | 45 | 0,839398 |
| 1 | 0,8 | 90 | 0,218592 |
| 1 | 0,8 | 135 | 0,043829 |

con e= 0,44 Sviluppo MAGGIORE
 MOD.SEMPLIFICATO
 MOD.FIBRA NEUTRA
 MOD.FIBRA NEUTRA

Spiegazione: se ho una piega a 90° se metto un $e=0.218592$ avrò lo stesso sviluppo per entrambi i modelli, ma se $e=0.44$, il modello UGS avrà sviluppo maggiore ($C' > C$).
 Quindi gli sviluppi semplici a 90° sono un po' corti rispetto quelli con $e=0.44$.

ANGOLO DI PIEGA IN UGS-NX

NOTA: In UGS NX, nella Bend Allowance Formula la convenzione sull'angolo è:



Se prendiamo la formula appena trovata (f.2) e sostituiamo $\alpha = 180 - ANGLE$, otteniamo

$$e = \frac{R_i}{S} * \left(\frac{2}{RAD(ANGLE) * \tan\left(90 - \frac{ANGLE}{2}\right)} - 1 \right)$$

Dalle formule di identità trigonometrica, abbiamo che $\tan(x) = \cot\left(\frac{\pi}{2} - x\right) = \frac{1}{\tan\left(\frac{\pi}{2} - x\right)}$

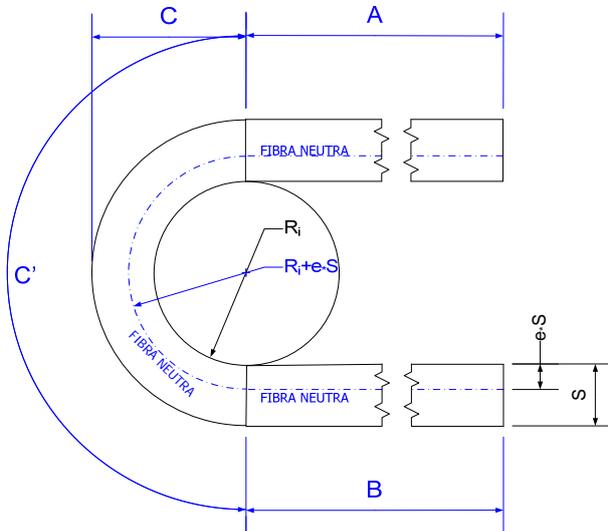
quindi troveremo

$$e = \frac{R_i}{S} * \left(\frac{2 * \tan\left(\frac{ANGLE}{2}\right)}{RAD(ANGLE)} - 1 \right) \quad (f.2')$$

che potremmo usare per i calcoli.

PIEGA SCHIACCIATA

Per una piega schiacciata:



La quota orizzontale C dev'essere uguale allo sviluppo dell'arco di cerchio della fibra neutra C':

$$C = 2 * (R_i + S) = (R_i + e * S) *_{RAD}(180) = C'$$

$$e = \frac{2 * (R_i + S) - R_i * \pi}{S * \pi} \quad (f.3)$$

$$\lim_{R_i \rightarrow 0} \frac{2 * (R_i + S) - R_i * \pi}{S * \pi} = \frac{2}{\pi} \cong 0,636619772$$

Considerazioni sul confronto tra piega semplice con modello semplificato e piega schiacciata appena calcolata:

Calcoliamo e per valori minori di 180° (con la formula $e = \frac{R_i}{S} * \left(\frac{2}{_{RAD}(180 - \alpha) * \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right)} - 1 \right)$

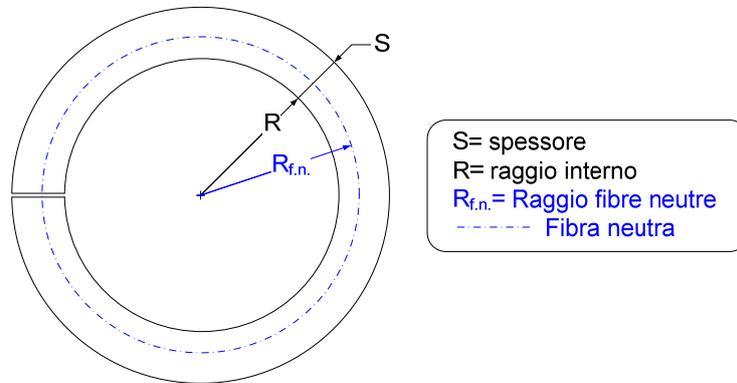
(f.2) relativa ad una piega semplice) ed e per 180° ($e = \frac{2 * (R_i + S) - R_i * \pi}{S * \pi}$ relativa a una piega schiacciata):

| S [mm] | R _i [mm] | α [°] | e |
|--------|---------------------|-------|-------------|
| 1 | 0,8 | 170 | 0,002036988 |
| 1 | 0,8 | 179 | 2,03084E-05 |
| 1 | 0,8 | 180 | 0,34591559 |

C'è una discontinuità nel passare a 180° (piega schiacciata): la piega semplice con modello fibra neutra ed il modello piega schiacciata non sono continui, non hanno continuità.

CALANDRATURA

Possiamo schematizzare una lamiera calandrata in questo modo:



Se considerassimo che $R_{f.n.} = R * \frac{1}{3} S$, allora $e = \frac{1}{3} = 0.\bar{3}$

ALLUNGO LO SVILUPPO

Se volessi allungare lo sviluppo di una determinata quantità?

Posso pensare di modificare e di modo tale da allungare lo sviluppo di una determinata quantità nota.

Lo sviluppo con un determinato e è:

$$S_{vil} = (R_i + e * S) * RAD(\alpha)$$

Vorrei aumentarlo di un ΔS_{vil} e quindi vorrei sapere di quanto aumentare e per ottenere tale aumento.

$$\begin{aligned} S_{vil} + \Delta S_{vil} &= (R_i + (e + \Delta e) * S) * RAD(\alpha) \\ S_{vil} + \Delta S_{vil} &= (R_i + e * S) * RAD(\alpha) + (\Delta e * S) * RAD(\alpha) \\ \cancel{S_{vil}} + \Delta S_{vil} &= \cancel{(R_i + e * S) * RAD(\alpha)} + (\Delta e * S) * RAD(\alpha) \\ \Delta S_{vil} &= (\Delta e * S) * RAD(\alpha) \end{aligned}$$

$$\boxed{\Delta e = \frac{\Delta S_{vil}}{S * RAD(\alpha)}}$$

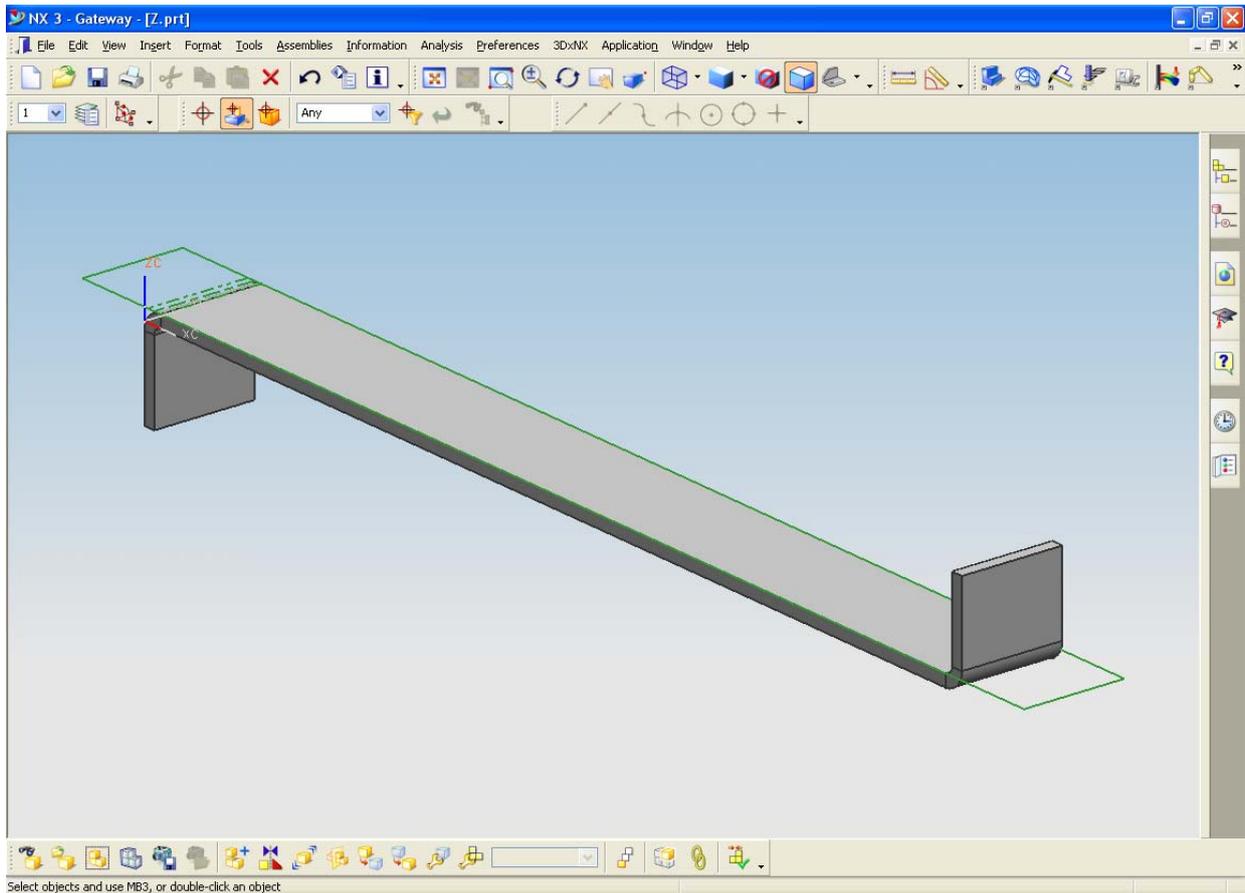
Δe è la quantità con cui aumentare e , di modo tale da avere un aumento di sviluppo paria a ΔS_{vil} .

NOTA: l'aumento sarà per ogni piega, metà per parte, con il risultato che le pieghe laterali aumenteranno di $\frac{\Delta S_{vil}}{2}$, e quelle centrali di ΔS_{vil} .

ESEMPI

Piega a “Z”

Vogliamo trovare lo sviluppo per il seguente componente:



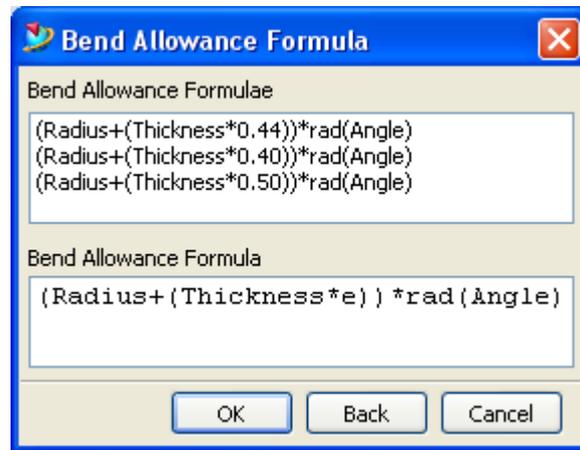
Bisogna impostare il giusto coefficiente “e” per determinare dove cadrà la fibra neutra. Imposteremo le seguenti variabili:

| Name | Formula | Value | Units | Comment |
|--------|--|--------------|-------|---------|
| ANGLE | 90 | 90 | | |
| e | $(r_curv/spess)*((2*\tan(ANGLE/2))/RAD(ANGLE)-1)$ | 0.1821596965 | | |
| r_curv | 0.8 | 0.8 | mm | |
| spess | 1.2 | 1.2 | mm | |

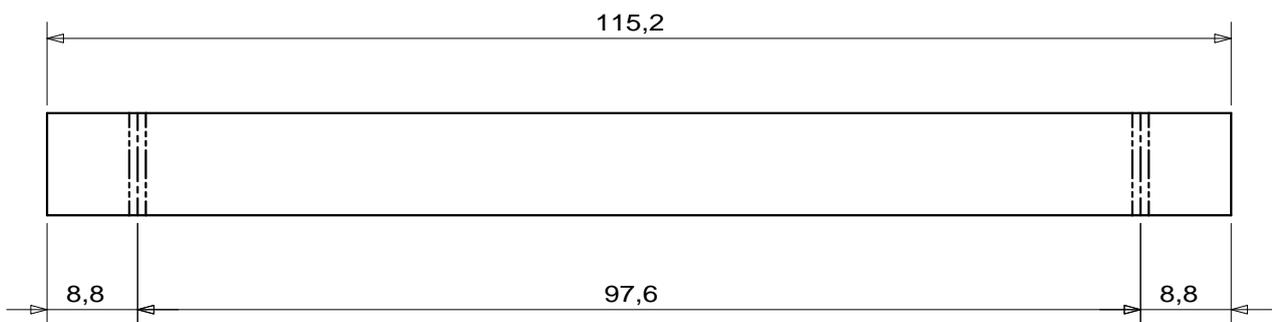
Abbiamo

- *alpha*, l'angolo di piega;
- *r_curv*, il raggio di curvatura della lamiera dalla parte interna;
- *spess*, lo spessore;
- *e*, il coefficiente per la fibra neutra in funzione dello spessore, del raggio di curvatura e dell'angolo di piega.

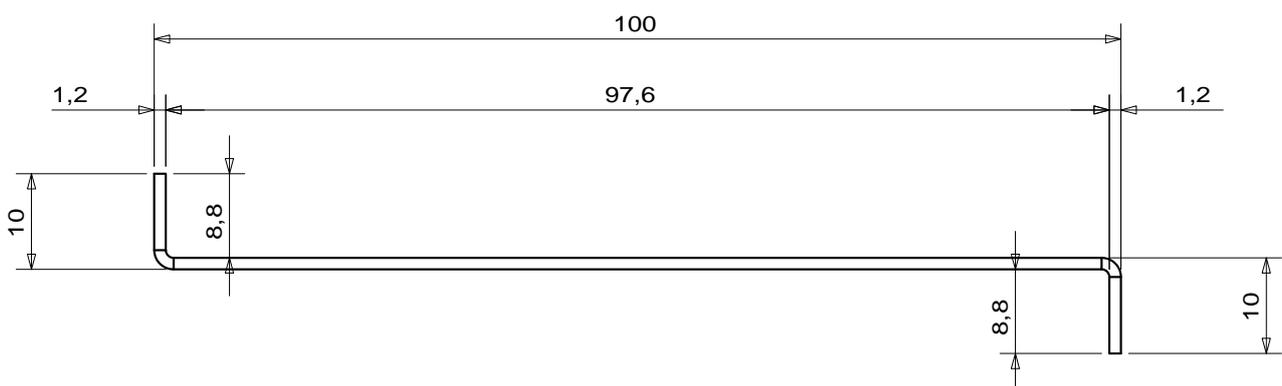
Al momento in cui si dovrà scegliere la formula per la curvatura, imposteremo una formula come segue:



Il risultato dello sviluppo sarà proprio quello desiderato:

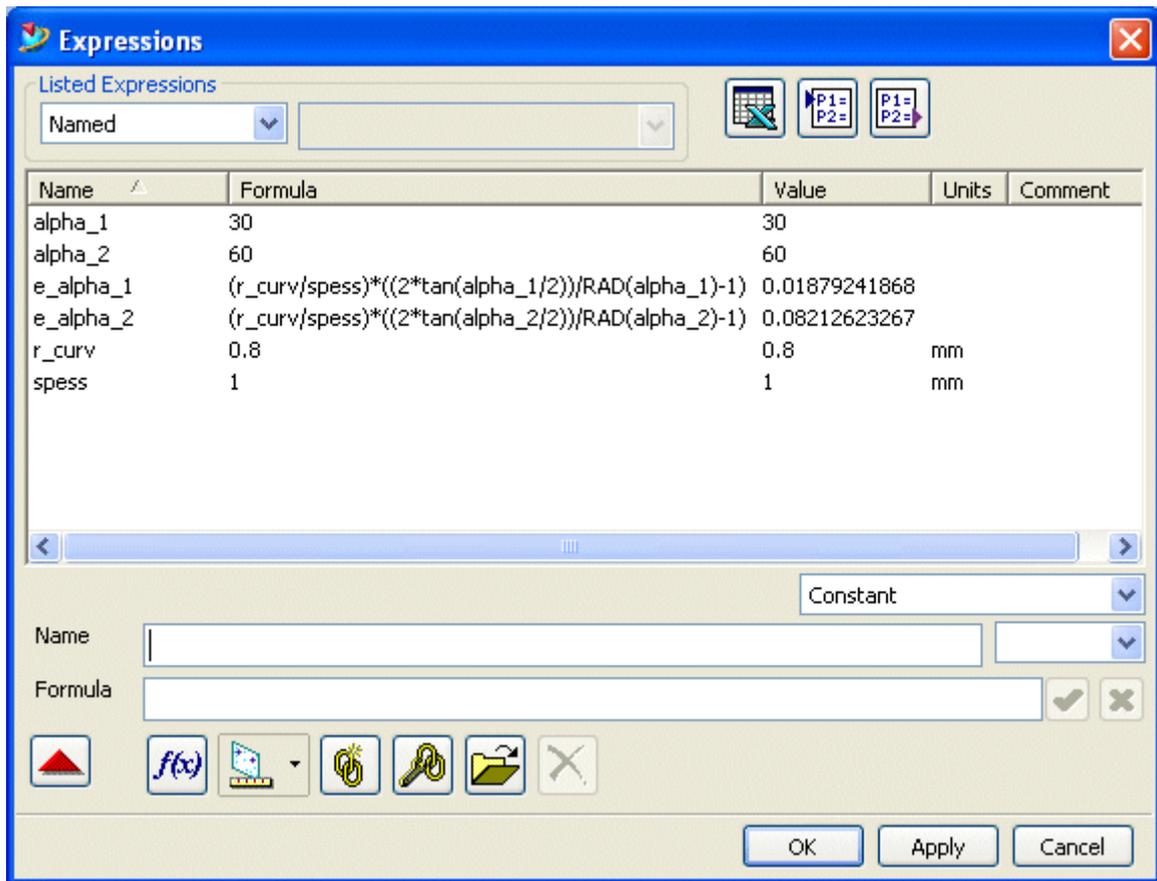


sapendo che il pezzo piegato dev'essere:

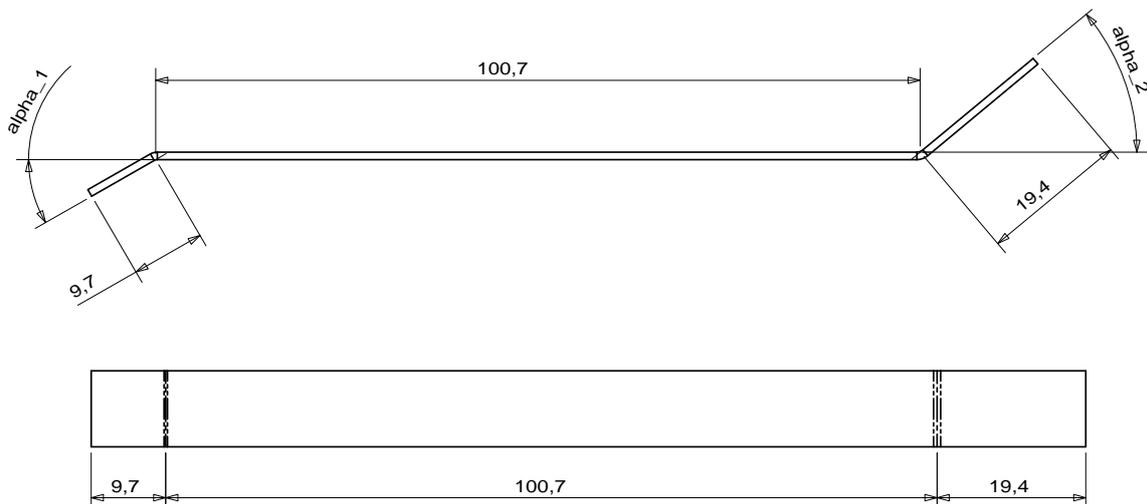


Variando poi lo spessore o il raggio di curvatura lo sviluppo verrà adattato di conseguenza, secondo la regola generale per il calcolo dello sviluppo spiegata prima.

Analogamente facendo un file in cui "e" è calcolato in funzione di un angolo alpha:

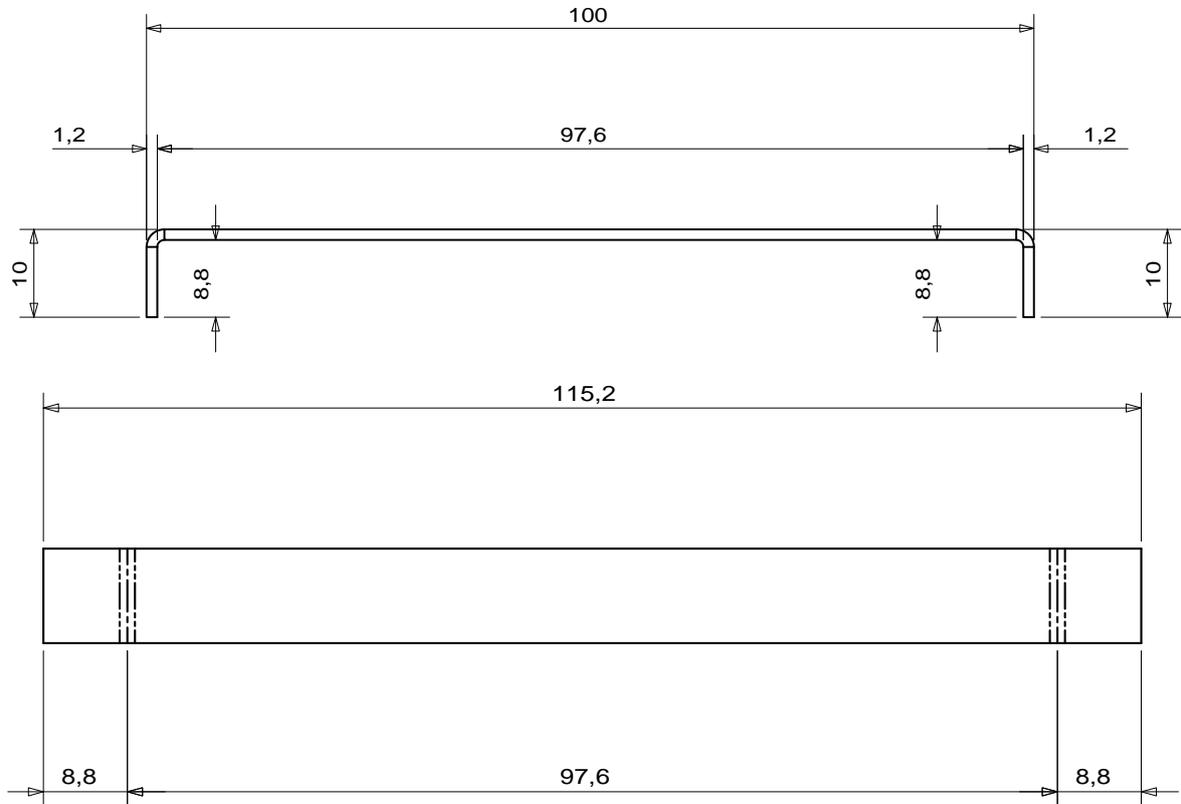


si ottengono risultati analoghi:

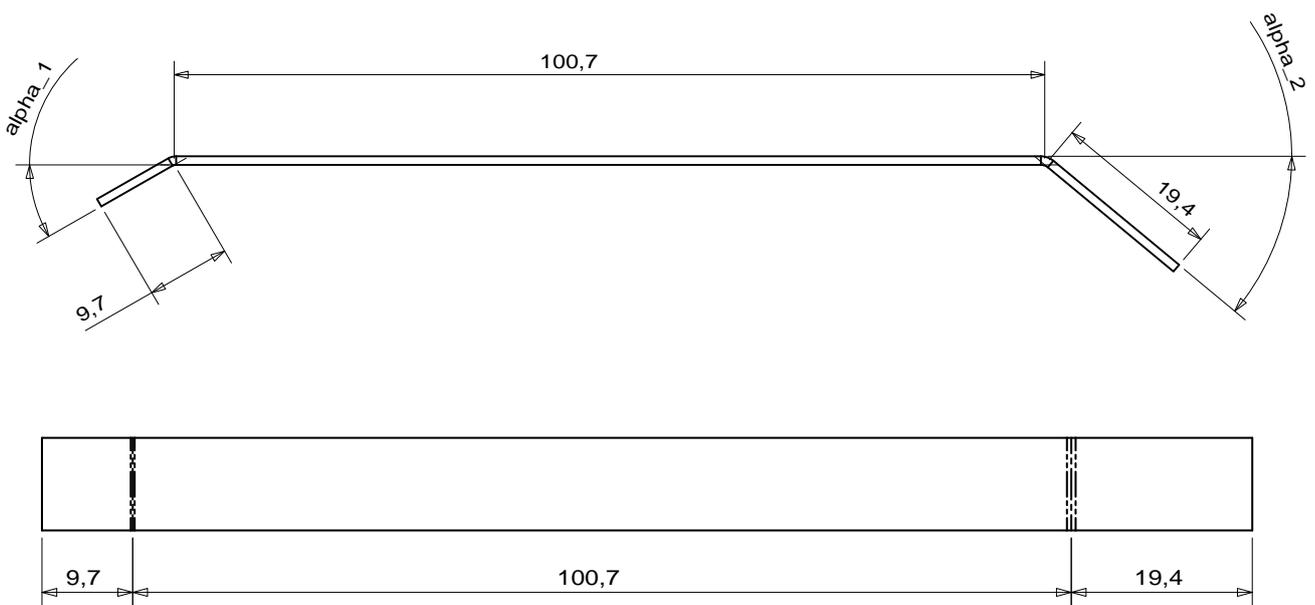


Piega a "C"

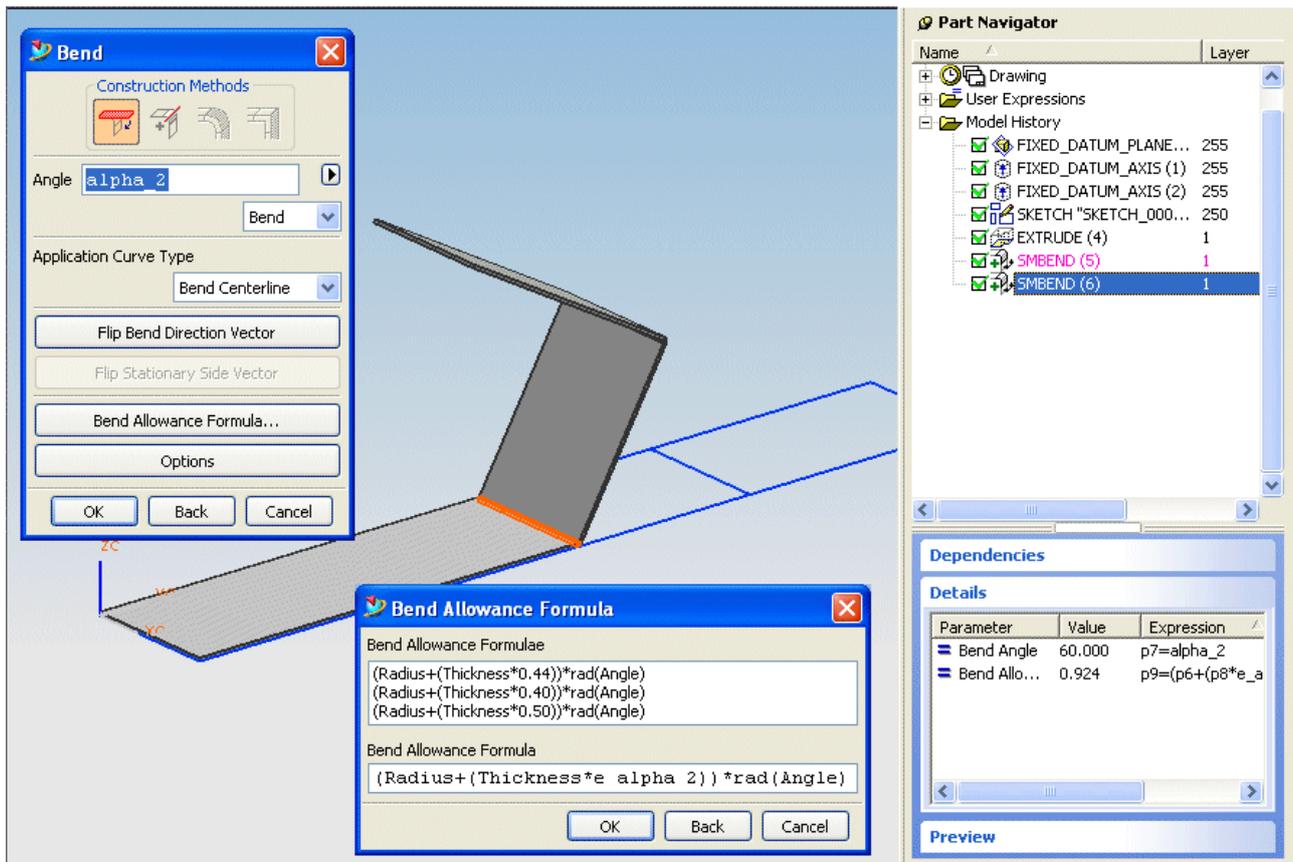
La stessa cosa funziona anche se si inverte la direzione di piega per realizzare una "C":



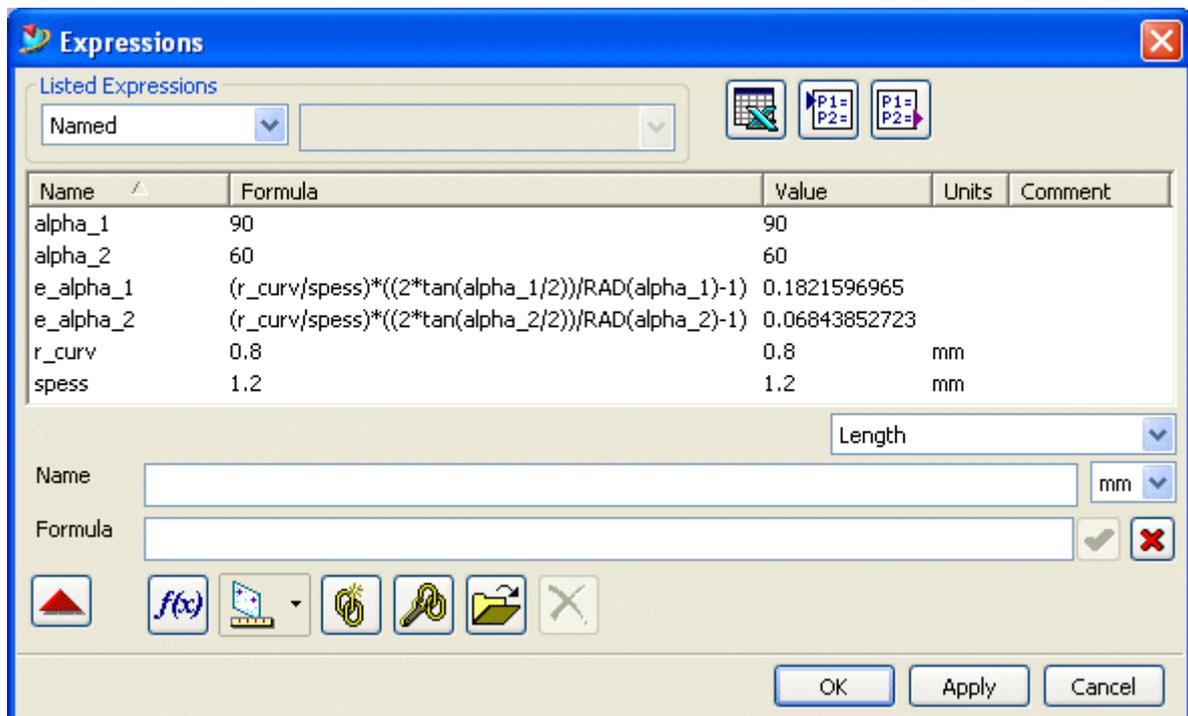
o anche:

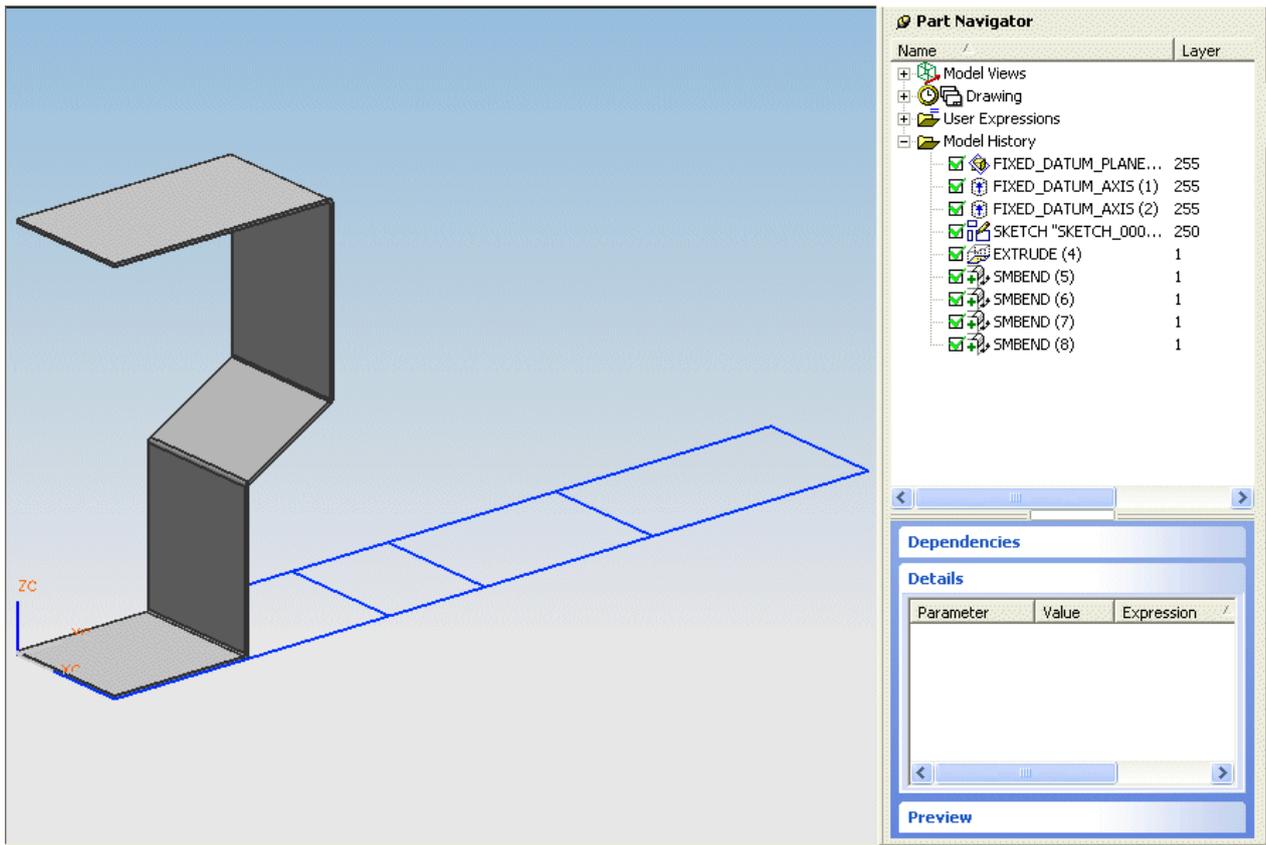


Le formule di piega sono opportunamente inserite a seconda dell'angolo considerato:

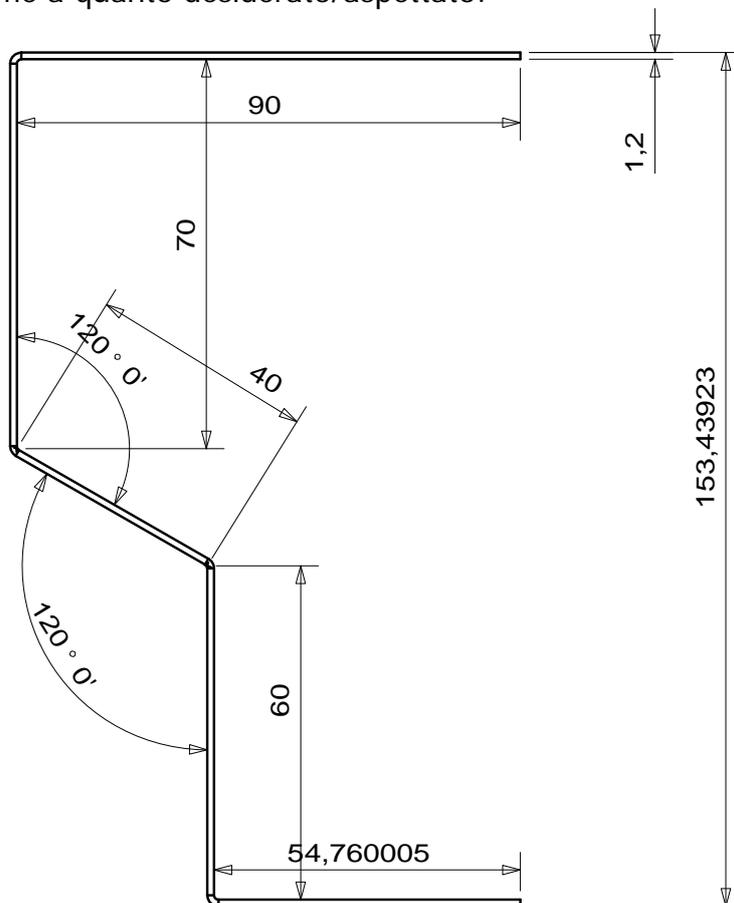


i coefficienti e_{α_1} e e_{α_2} sono calcolati come visto negli esempi precedenti:



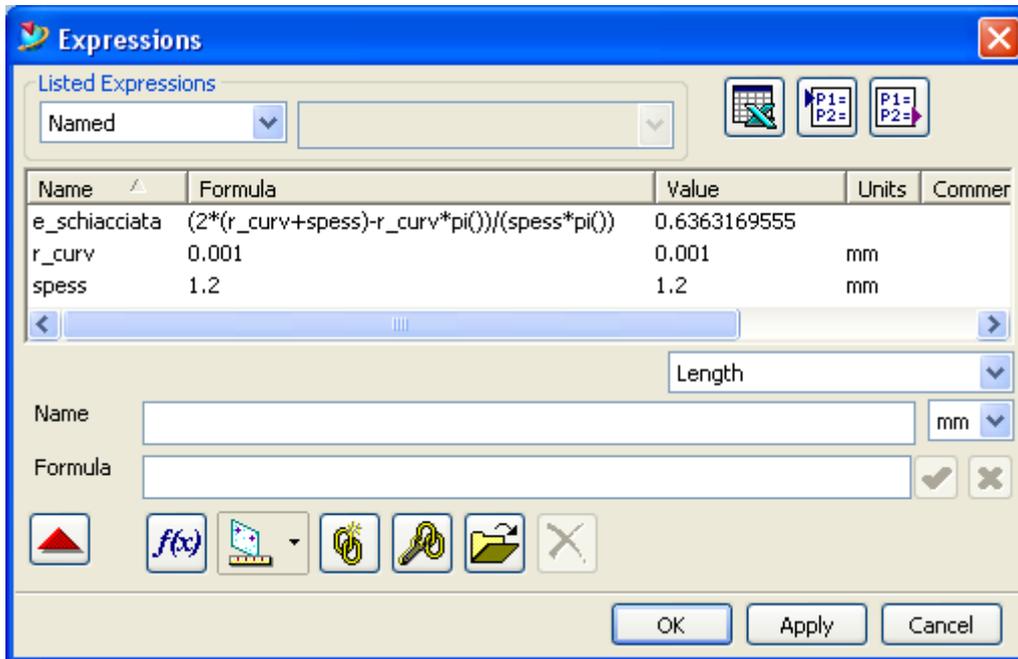


Il risultato è conforme a quanto desiderato/aspettato:

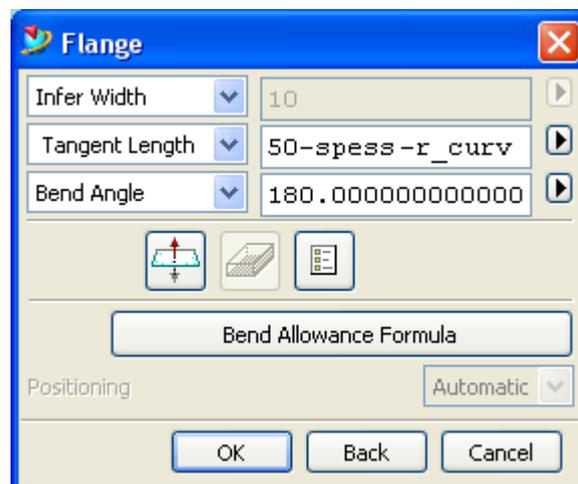


Piega schiacciata

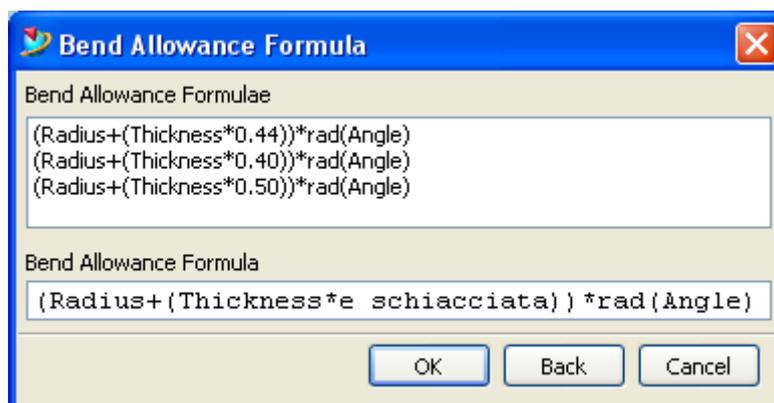
Per la piega schiacciata imposteremo queste variabili:



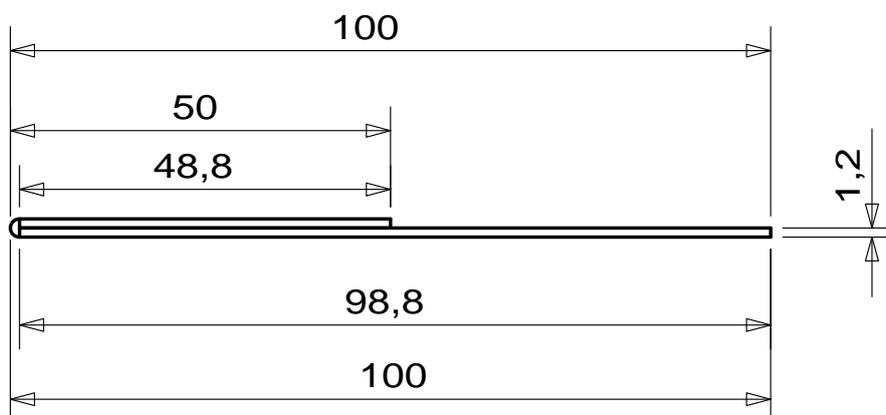
La flangia sarà:



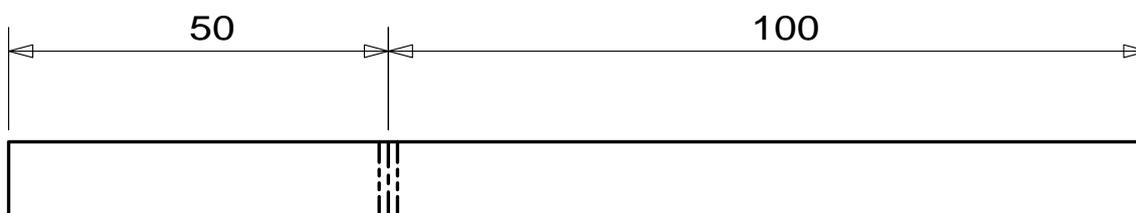
e avrà la seguente formula per la piega:



Il pezzo sarà:



e lo sviluppo giustamente sarà:

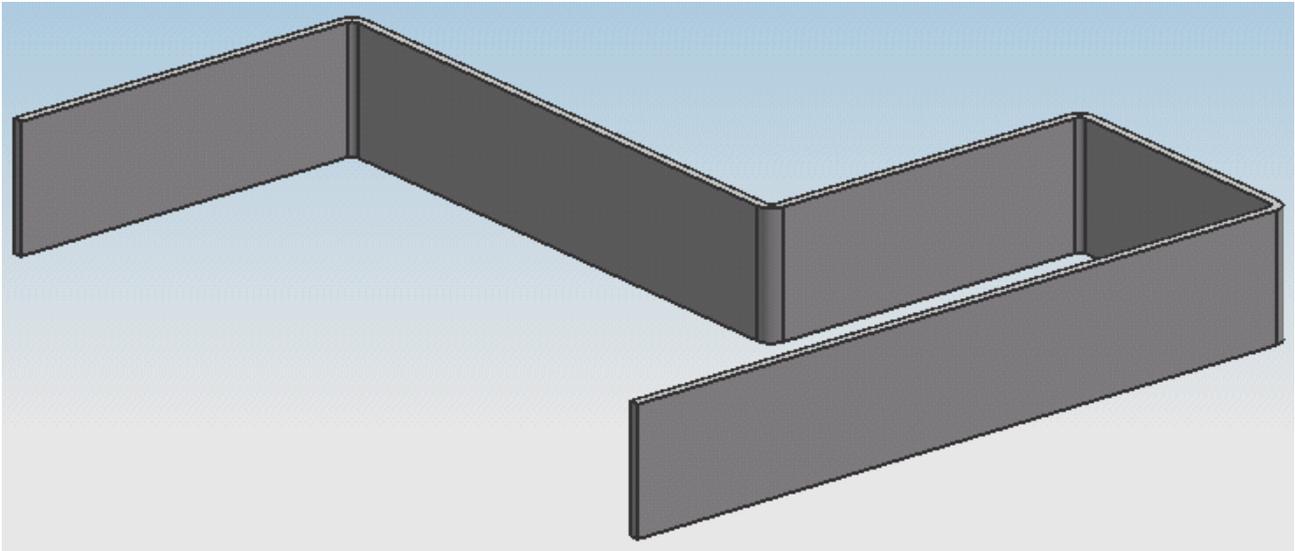


considerando nullo lo sviluppo della piega.

Allungo

Esempio di allungamento di uno sviluppo.

Supponiamo di avere una parte semplice in lamiera come nella figura seguente:

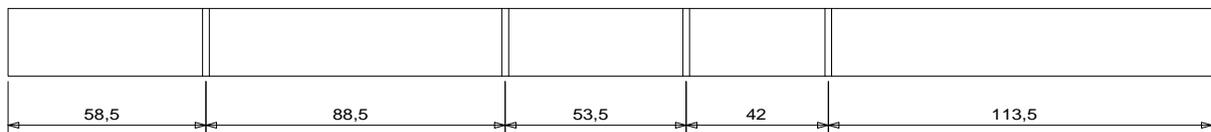
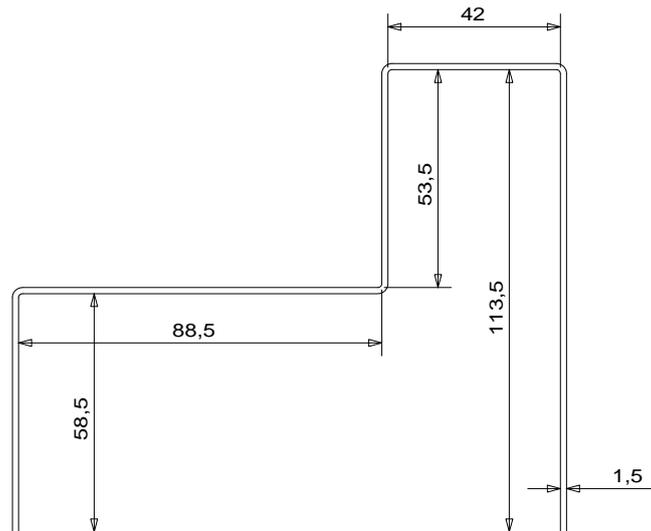


Sviluppo il pezzo normalmente, con un $\Delta S_{vil} = 0$ ed un conseguente $\Delta e = 0$

The screenshot shows the 'Expressions' dialog box with a table of user-defined expressions. The table has five columns: Name, Formula, Value, Units, and Comm. The expressions listed are:

| Name | Formula | Value | Units | Comm |
|-----------|--|--------------|-------|------|
| alpha_1 | 90 | 90 | | |
| D_e | D_svil/(spess*RAD(alpha_1)) | 0 | | |
| D_svil | 0 | 0 | mm | |
| e_alpha_1 | (r_curv/spess)*(2/(RAD(alpha_1)*tan((180-alpha_1)/2))-1)+D_e | 0.1821596965 | | |
| r_curv | 1 | 1 | mm | |
| spess | 1.5 | 1.5 | mm | |

Below the table, there is a 'Name' field, a 'Formula' field, and a 'Units' dropdown menu set to 'Length'. At the bottom, there are 'OK', 'Apply', and 'Cancel' buttons.



E tutto torna con le dimensioni delle pieghe interne.

Pongo poi $\Delta S_{vil} = 1$

Expressions dialog box showing user-defined expressions:

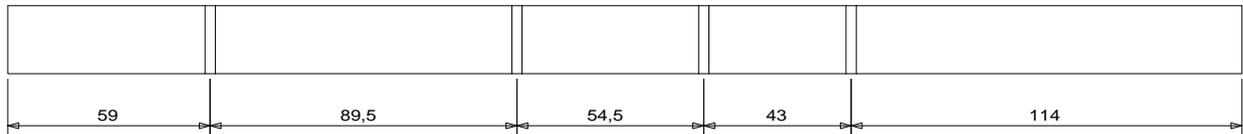
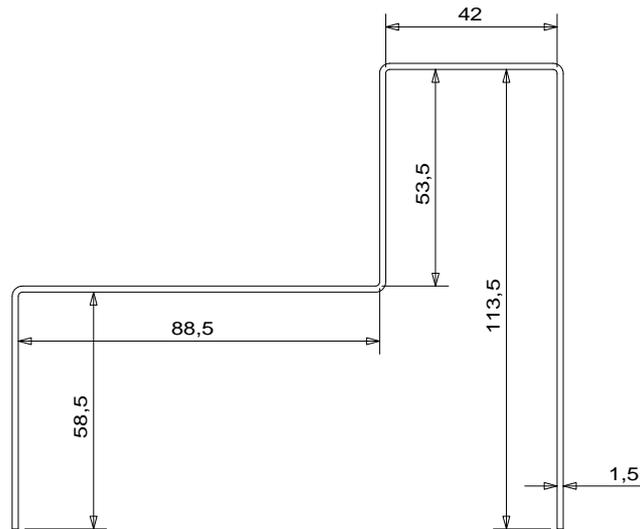
| Name | Formula | Value | Units | Comm |
|-----------|--|--------------|-------|------|
| alpha_1 | 90 | 90 | | |
| D_e | D_svil/(spess*RAD(alpha_1)) | 0.4244131816 | | |
| D_svil | 1 | 1 | mm | |
| e_alpha_1 | (r_curv/spess)*(2/(RAD(alpha_1)*tan((180-alpha_1)/2))-1)+D_e | 0.6065728781 | | |
| r_curv | 1 | 1 | mm | |
| spess | 1.5 | 1.5 | mm | |

Length

Name: mm

Formula:

OK Apply Cancel



E si può notare come tutte le pieghe abbiano avuto un aumento $\Delta S_{vil} = 1$ che viene ripartito metà da una parte e metà dall'altra. Così le pieghe ai lati vengono aumentate di $\frac{\Delta S_{vil}}{2}$ e quelle centrali di ΔS_{vil} (metà per parte).