



CRIVELLIN

PROGETTAZIONI S.A.S

Di Crivellin Lorenzo & C.

Via Carlo Barberis, 13

10071 Borgaro Torinese

(Torino) Italy

[www.crivellin.com](http://www.crivellin.com)

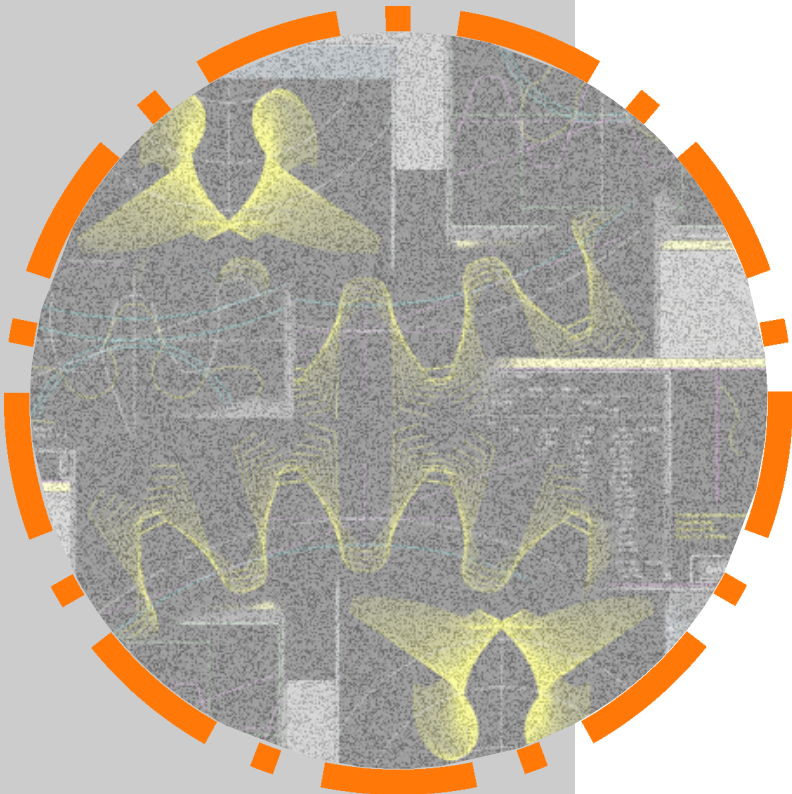
[info@crivellin.com](mailto:info@crivellin.com)

# GEAR 2 1.0

## Allegato

Sistema di calcolo , formule impiegate ed  
esempio di calcolo manuale

Allegato al manuale d'uso del programma  
"GEAR-2" per il calcolo dinamico di una coppia  
di ingranaggi ad assi paralleli





## Simbologia

R = a rottura

P = a pressione superficiale

Simboli	Descrizione	Unità	
b	Larghezza fascia dentata	mm	R-P
$m_o$	Modulo normale (utensile)	mm	R
$X_m$	Spostamento di profilo (correzione) sul raggio	mm	-
x	Coefficiente di spostamento		-
$F_t$	Forza tangenziale sul diametro primitivo	daN	R-P
$\Omega$	Coefficiente di correzione tensione base	-	P
d1	Diametro primitivo del pignone (Z1)	mm	P
$C_r$	Fattore di rapporto	-	P
$C_\beta$	Fattore di inclinazione dentatura elicoidale	-	P
$K_v$	Fattore di velocità	-	R-P
$K_{HL}$	Fattore di durata a pressione	-	P
$K_M$	Fattore di contatto	-	R-P
$K_A$	Fattore di servizio	-	R-P
$K_{BL}$	Fattore di durata a rottura	-	R
$Y_\epsilon$	Fattore di condotta ( <u>Non rapporto di condotta</u> )	-	R
$Y_F$	Fattore di Lewis	-	R
$Y_\beta$	Fattore di inclinazione elica	-	R
$\sigma_{b \text{ lim}}$	Sollecitazione limite tensione alla base	daN/mm <sup>2</sup>	R
$\sigma_b$	Sollecitazione tensione alla base	daN/mm <sup>2</sup>	R



## Dimensionamento di ruote dentate ad assi paralleli.

Occorre calcolare la larghezza della dentatura del pignone e della corona dentata sia a rottura che a pressione superficiale.

Il maggiore di questi quattro valori sarà scelto come larghezza della dentatura dei due ingranaggi.

Dimensionamento a pressione superficiale.

Per angolo di pressione normale  $\alpha_n = 20^\circ$

$$b = \frac{F}{\Omega_0 * d_1 * C_r * C_\beta * K_v * K_{HL} * K_M * K_A}$$

Per  $\alpha_n = 15^\circ$  moltiplicare Ft per 0.92

Per  $\alpha_n = 17^\circ 30'$  moltiplicare Ft per 0.96

Per  $\alpha_n = 25^\circ$  moltiplicare Ft per 1.07

b= larghezza della dentatura in mm.

Ft = sforzo tangenziale primitivo in da N.

di = diametro primitivo del pignone in mm.

L'ingranaggio calcolato con la formula precedente può sopportare un sovraccarico istantaneo fino a 3Ft per un tempo di 15-20sec.



Data una potenza P da trasmettere (Kw) e un numero di giri al minuto (RPM)  
 Si calcola il momento torcente ( Coppia ) in daN per metro.

$$\text{Coppia} = \frac{954.9 * P}{\text{RPM}} = (\text{daN} * \text{Mt}) \quad \text{Ft} = \frac{\text{Coppia} * 2000}{d1} = \text{daN}$$

$\Omega_0$  = valore dipendente dalla pressione specifica ammissibile per i vari materiali.  
 (Può essere diverso per pignone e corona)

$\Omega_0$	Materiale
0.1-0.2	Ghisa
0.2-0.8	Acciaio non trattato
0.8-1.3	Acciaio tempr. Superfic. a induzione
1-1.5	Acciaio cementato e temprato

$C_r$  = Fattore di rapporto (E' uguale per pignone e corona)

$$\text{per ingranaggio esterno} = \frac{i}{i+1} \quad \text{per ingranaggio interno} = \frac{i}{i-1} \quad i = \frac{Z_2}{Z_1}$$

$C_\beta$  = Fattore di inclinazione (Uguale per pignone e corona)

Dipende dall'angolo di inclinazione dell'elica  $\beta$  -  $C_\beta = 1 + (0.0376 * \beta^{0.658})$

Andamento di  $C_\beta$

$\beta^\circ$	$C_\beta$
0°	1
5°	1.10
10°	1.18
15°	1.24
20°	1.28
25°	1.32
30°	1.35
35°	1.38
40°	1.40



$K_v$  = Fattore di velocità (Uguale per pignone e corona)

$V$  = AMMISSIBILE – (20-25 m/1'')

Gli ingranaggi vengono suddivisi in 4 classi di qualità.

- Classe 1 - Dentatura di estrema precisione per ingranaggi ad elevata velocità (fino e oltre 100 m/sec) finitura di rettifica.
- Classe 2 - Dentatura di precisione (50 m/sec) Rettifica
- Classe 3 - Buona qualità (20 m/sec). Senza rettifica
- Classe 4 - Mediocre qualità (5 m/sec)

$$K_v \text{ classe 1} = \frac{30}{30 + \sqrt{Vt}}$$

$$\text{classe 2} = \frac{12}{12 + \sqrt{Vt}}$$

$$\text{classe 3} = \frac{6}{6 + \sqrt{Vt}}$$

$$\text{classe 4} = \frac{3}{3 + \sqrt{Vt}}$$

$$V_p = \text{velocità periferica in metri/sec.} = \frac{d1 * \pi * \text{RPM}}{60000}$$



$K_{HL}$  = Fattore di durata (Diverso per pignone e corona)

Quando la trasmissione ha un ciclo di carico variabile si deve tener conto della durata equivalente.

$D_0$  = durata equivalente

$C_1 - C_2 \dots C_n$  = Carichi diversi

$D_1 - D_2 \dots D_n$  = Durate relative ai carichi diversi

$D_1 + D_2 \dots D_n = D$  durata totale

La durata equivalente viene espressa in funzione del carico massimo che chiamiamo  $C_1$

$$D_0 = D_1 + D_2 * \left(\frac{C_2}{C_1}\right)^n + \dots + D_n * \left(\frac{C_n}{C_1}\right)^n$$

$n = 10$  per calcolo a rottura                       $= 6$  per calcolo a pressione spec.

$K_{HL}$  viene espresso in funzione del numero di cicli.

$$K_{HL} = 8.44 * N \text{ cicli}^{-0.13}$$

Andamento di  $K_{HL}$

$K_{HL}$	Numero cicli
2	$10^5$
1.45	$10^6$
1	$10^7$
0.7	$10^8$
0.5	$10^9$
0.5	$10^{10}$

N.B. Nel caso di una corona dentata intermedia il numero di cicli deve essere moltiplicato per 2.



$K_M$  = Fattore di contatto (Uguale per pignone e corona)

Dipende dal rapporto  $\frac{b}{d_1}$

$b$  = larghezza della dentatura

$d_1$  = diametro primitivo del pignone

$K_M$	$b/d_1$
1	1
0.95	1.5
0.84	2
0.72	2.5

Pur essendo  $b$  un valore incognito si può impostare il calcolo con  $K_M = 1$  che è un valore valido nella quasi totalità dei casi.

Il rapporto  $b/d_1$  non dovrebbe superare il valore di 2.

**Il valore massimo assoluto è 2.5**

$K_A$  = Fattore di servizio (Uguale per pignone e corona)

Funzionamento senza urti	1
Funzionamento con urti moderati	2
Funzionamento con urti consistenti	3

Organo motore	Grado di urto	Fino a 12 ore/giorno	24 ore/giorno
Motore elettrico	1	1	0.95
	2	0.8	0.7
turbina	3	0.67	0.50
Motore a combust. Interna Monocil.	1	0.8	0.7
	2	0.67	0.57
	3	0.57	0.45
Motore a combust. Interna Pluricil.	1	0.67	0.57
	2	0.57	0.45
	3	0.45	0.35

Per installazioni che richiedono sicurezza assoluta dividere questi valori per  $1.25 \div 1.4$



Dimensionamento a Rottura

$$b = \frac{F * Y_{\epsilon} * Y_F * Y_{\beta}}{\sigma_{b \text{ lim}} * m_0 * K_V * K_{bL} * K_M * K_A}$$

$b$  = larghezza della dentatura in mm

$m_0$  = modulo normale (d'utensile)

$F_t$  = sforzo tangenziale primitivo in daN.

L'ingranaggio calcolato con la formula precedente può sopportare un sovraccarico istantaneo fino a  $2 F_t$  per un tempo di 15 – 20 sec.



$Y$  = Fattore di condotta (È uguale per pignone e corona)

Con dentature di classe 1 e 2 la vecchia norma prevedeva :

$$Y_{\epsilon} = \frac{1}{\epsilon_{\alpha}}$$

Nuova formula ISO  $Y = 0.25 + (0.75 / \epsilon_{\alpha})$

Con dentature di classe 3 e carichi notevoli e dentature di classe 4  $Y = 1$   
 = rapporto di condotta (è opportuno che sia superiore a 1.30)

$$= Y_1 * U_1 + Y_2 * U_2$$

$$Y = \frac{ha}{m} = \frac{\text{addendum}}{\text{modulo}} \quad \text{nelle dentature normali} = 1$$

$U$  = coefficiente dipendente da  $Z_1$  e  $Z_2$  e dall'angolo di pressione di funzionamento

Z	12°30'	15°	17°30'	20°	22°30'	25°	27°30'	30°
10	0.8	0.75	0.7	0.68	0.64	0.62	0.6	0.6
15	0.9	0.8	0.75	0.72	0.69	0.67	0.64	0.62
20	0.95	0.85	0.80	0.77	0.73	0.69	0.66	0.65
25	1	0.9	0.83	0.8	0.75	0.71	0.68	0.67
30	1.05	0.95	0.87	0.83	0.78	0.73	0.69	0.68
40	1.1	1	0.9	0.87	0.8	0.75	0.7	0.69
50	1.15	1.05	0.95	0.89	0.82	0.77	0.71	0.7
70	1.2	1.1	1	0.9	0.84	0.79	0.72	0.72
100	1.3	1.15	1.03	0.92	0.85	0.8	0.73	0.72
150	1.35	1.18	1.05	0.95	0.88	0.81	0.75	0.73
250	1.4	1.2	1.1	0.97	0.9	0.81	0.75	0.73



$Y_F$  = Fattore di forma di Lewis (È diverso per pignone e corona)

È in funzione del numero dei denti, della eventuale correzione  $x$ , dell'angolo di pressione, del raggio di raccordo a fondo dente, ecc.

$Z_i = N^\circ$  denti immaginari =  $Z / (\cos \alpha)^3$  per dentature elicoidali

$Z_i = Z$  per dentature diritte

$X_m$  = spostamento di profilo sul raggio (correzione in mm)

$x$  = coefficiente di spostamento =  $X_m / m_n$

Per  $\alpha_0 = 20^\circ$

$Z_i$	$x$										
	-0.5	-0.4	-0.3	-0.2	-0.1	0	+0.1	+0.2	+0.3	+0.4	+0.5
<b>15</b>	-	-	-	-	-	-	2.85	2.66	2.51	2.36	2.24
<b>20</b>	-	-	-	-	2.97	2.78	2.60	2.48	2.38	2.28	2.17
<b>25</b>	3.55	3.35	3.11	2.93	2.77	2.6	2.48	2.38	2.30	2.22	2.14
<b>30</b>	3.25	3.08	2.91	2.74	2.62	2.5	2.40	2.32	2.25	2.18	2.12
<b>40</b>	2.90	2.78	2.68	2.58	2.47	2.38	2.32	2.27	2.21	2.16	2.10
<b>50</b>	2.70	2.62	2.53	2.47	2.38	2.32	2.28	2.22	2.18	2.14	2.08
<b>70</b>	2.52	2.47	2.39	2.35	2.30	2.27	2.22	2.18	2.15	2.11	2.07
<b>100</b>	2.38	2.34	2.30	2.27	2.23	2.20	2.18	2.14	2.12	2.09	2.06
<b>150</b>	2.28	2.26	2.24	2.20	2.18	2.16	2.14	2.12	2.10	2.08	2.06
<b>200</b>	2.23	2.21	2.18	2.17	2.16	2.14	2.13	2.11	2.09	2.07	2.06
<b>300</b>	2.18	2.17	2.16	2.15	2.14	2.11	2.10	2.09	2.08	2.06	2.06
<b>500</b>	2.14	2.13	2.12	2.11	2.10	2.09	2.08	2.07	2.06	2.05	2.06

Per  $\alpha_0 = 15^\circ$  moltiplicare per 1.22

Per  $\alpha_0 = 25^\circ$  moltiplicare per 0.848



$Y$  = Fattore di inclinazione (È uguale per pignone e corona)

In funzione dell'angolo di inclinazione dell'elica

$Y$	
1	$0^\circ$
0.93	$5^\circ$
0.87	$10^\circ$
0.82	$15^\circ$
0.78	$20^\circ$
0.76	$25^\circ$
0.75	$30^\circ$
0.75	$35^\circ$
0.74	$40^\circ$

$\sigma_{b \text{ lim}}$  = Sollecitazione limite alla base. Dipende dal materiale. (nel caso di una corona intermedia moltiplicare  $\sigma_{b \text{ lim}}$  per  $\frac{3}{4}$ )

Materiale	$\delta_b$
Ghise grigie	5-8
Ghise speciali	8-12
Bronzi	6-8
Acciai al carbonio	12-18
Acciai legati	20-25
Acciai legati a tempra tot.	25-35
Acciai legati da cementazione	30-42



$K_{bL}$  = Fattore di durata (È diverso per pignone e corona)

È espresso in funzione del numero di cicli.

$K_{bL}$	Numero cicli
1.6	$10^5$
1.25	$10^6$
1	$10^7$
0.8	$10^8$
0.65	$10^9$
0.65	$10^{10}$

N.B. Nel caso di una corona intermedia il numero dei cicli deve essere moltiplicato per 2

---

Dopo avere scelto la larghezza di fascia dentata si verifica la sollecitazione  $\sigma_b$  effettiva:  
Sia per il pignone che per la corona

$$\sigma_b = \frac{F_t}{b * m_0} * Y_\epsilon * Y_F * Y_\beta$$





$$Y_F = 2.5 \text{ per il pignone} \qquad = 2.2 \text{ per la corona}$$

$$Y_\beta = 1$$

$$V_p = \frac{\pi * 75 * 2100}{60000} = 8.24 \text{ m/sec}$$

$$K_V \text{ (classe 2)} = \frac{12}{12 + \sqrt{8.24}} = 0.8$$

Durata equivalente  $D_0 =$

Press. Superficiale

$$= 6000 + 10000(12/17)^6 + 4000(5/17)^6$$

$$= \mathbf{7239 \text{ ore}}$$

Rottura

$$= 6000 + 10000(12/17)^{10} + 4000(5/17)^{10} =$$

$$= \mathbf{6307 \text{ ore}}$$

$$N^\circ \text{ cicli pignone} = \text{RPM} * D_0 * 60 = 2100 * 7239 * 60 = 912.144.000$$

$< 10^9 \quad > 10^8 \quad K_{bL} \cong 0.65$

$$N^\circ \text{ cicli corona} = 912.144.000 * Z_1/Z_2 = 304.038.000$$

$< 10^9 \quad > 10^8 \quad K_{bL} = 0.8$

$$K_{bL} = 0.65 \text{ per il pignone} \qquad 0.8 \text{ per la corona}$$

$$K_M = 1 \qquad K_A = 0.8$$

$$b \text{ pignone} = \frac{453 * 0.679 * 2.5 * 1}{42 * 2.5 * 0.8 * 0.65 * 1 * 0.8} = 17.5$$

$$b \text{ corona} = \frac{453 * 0.679 * 2.2}{42 * 2.5 * 0.8 * 0.8 * 1 * 0.8} = 12.5$$



### Calcolo a pressione superficiale

$$b = \frac{F}{\Omega_0 * d_1 * C_r * C_\beta * K_v * K_{HL} * K_M * K_A}$$

$$C_r = \frac{3}{3+1} = 0.75$$

$$C_\beta = 1$$

$$K_{HL} = 8.44 * 912.144.000^{-0.13} = 0.577 \quad \text{per il pignone}$$

$$K_{HL} = 8.44 * 304.038.000^{-0.13} = 0.666 \quad \text{per la corona}$$

$$b_{\text{pignone}} = \frac{453}{1.3 * 75 * 0.75 * 1 * 0.8 * 0.577 * 1 * 0.8} = 16.77$$

$$b_{\text{corona}} = \frac{453}{1.3 * 75 * 0.75 * 1 * 0.8 * 0.666 * 1 * 0.8} = 10.9$$

Occorre pertanto avere una fascia di dentatura uguale o superiore a 18.58 mm

Fascia consigliata = 20

Che è il valore più elevato dei quattro risultati.

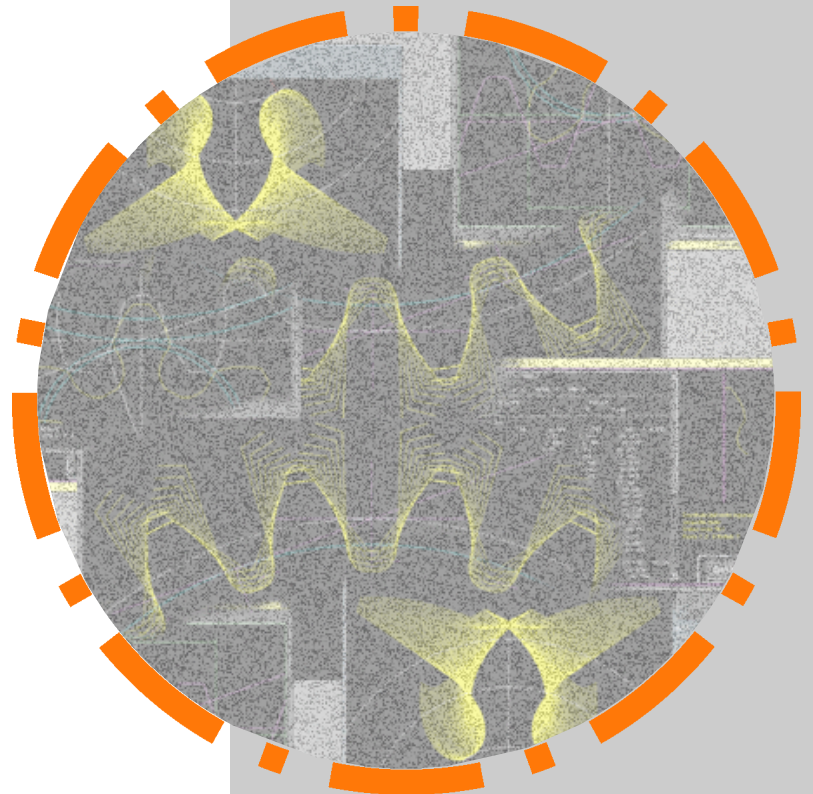
Calcolo della sollecitazione a rottura effettiva (Notare che viene influenzata dal fattore di Lewis)

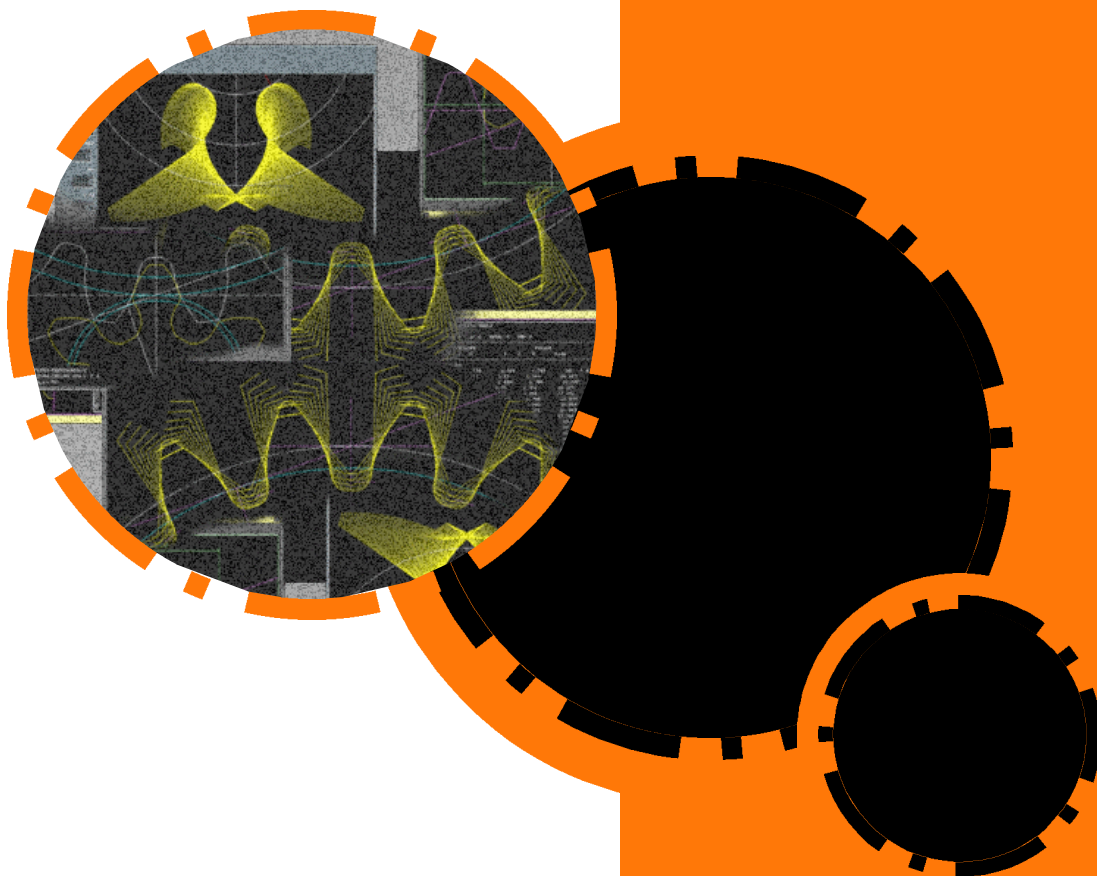
$$\text{Pignone } \sigma_b = \frac{453}{20 * 2.5} * 0.679 * 2.5 * 1 = 15.38 \text{ daN/mm}^2$$

$$\text{Corona } \sigma_b = \frac{453}{20 * 2.5} * 0.679 * 2.2 * 1 = 13.53 \text{ daN/mm}^2$$



# GEAR 2 1.0





## **GEAR 2 1.0 Allegato**

Sistema di calcolo , formule impiegate ed  
esempio di calcolo manuale

Allegato al manuale d'uso del programma "GEAR-2"  
per il calcolo dinamico di una coppia di ingranaggi ad  
assi paralleli

Software serie

CRIVELLIN PROGETTAZIONI S.A.S  
Di Crivellin Lorenzo & C.  
Via Carlo Barberis, 13  
10071 Borgaro Torinese  
(Torino) Italy  
[www.crivellin.com](http://www.crivellin.com)  
[info@crivellin.com](mailto:info@crivellin.com)