

Un banco prova tutto italiano **PER INGRANAGGI IN PLASTICA**

GLI INGRANAGGI IN PLASTICA SI STANNO DIFFONDENDO NOTEVOLMENTE E LA LORO PROGETTAZIONE RICHIEDE UNA PARTICOLARE ATTENZIONE

Riccardo Longato, Massimiliano Turci

I progettisti di ingranaggi sono abituati alle regole dell'acciaio, sia per quanto riguarda la fabbricazione (taglio per asportazione di truciolo, spesso per generazione), sia per le caratteristiche meccaniche, che rimangono sostanzialmente invariate nel range di temperatura di funzionamento tipico degli ingranaggi in acciaio da cementazione o da bonifica.

Invece, per quanto riguarda la plastica, la forma del dente e di tutto il corpo ruota è molto più libera, perché spesso si tratta di ingranaggi stampati, e i materiali sono tantissimi, per via delle combinazioni di matrici (POM, PA, PET, ...), additivi (fibre di carbonio o vetro, lunghe o corte, in percentuali diverse) e lubrificanti (teflon, grafite...). Inoltre, lo stesso materiale presenta caratteristiche meccaniche molto diverse in funzione della temperatura e del lubrificante.

Una corretta progettazione degli ingranaggi in plastica

Per una corretta progettazione o scelta delle ruote in plastica è quindi fondamentale la conoscenza perlomeno dei limiti di fatica a flessione del dente del materiale, in funzione della temperatura: proprio per questo motivo è stato realizzato dalla Longato Srl il banco prova descritto qui di seguito.



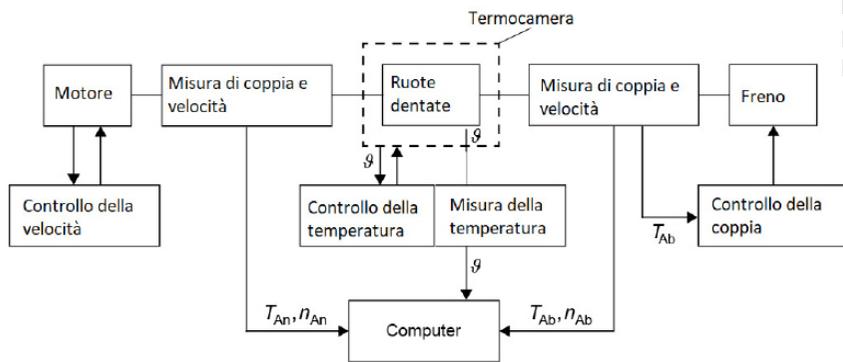


Figura 1. Schema del banco prova per ruote dentate in plastica

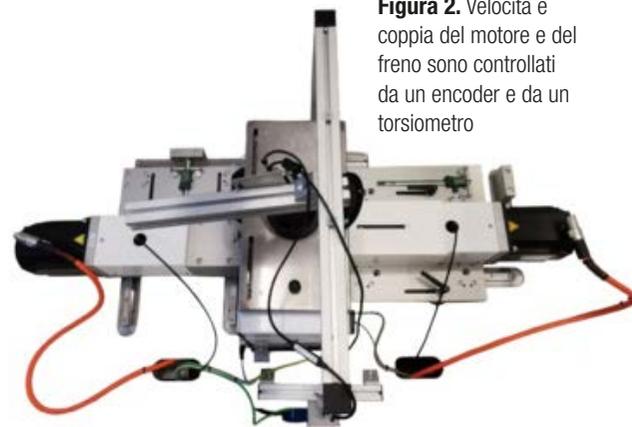


Figura 2. Velocità e coppia del motore e del freno sono controllati da un encoder e da un torsionometro



Figura 3. Cella climatica per test a temperature differenti



Figura 4. Sistema di arresto istantaneo della rotazione, in caso di rottura di un dente

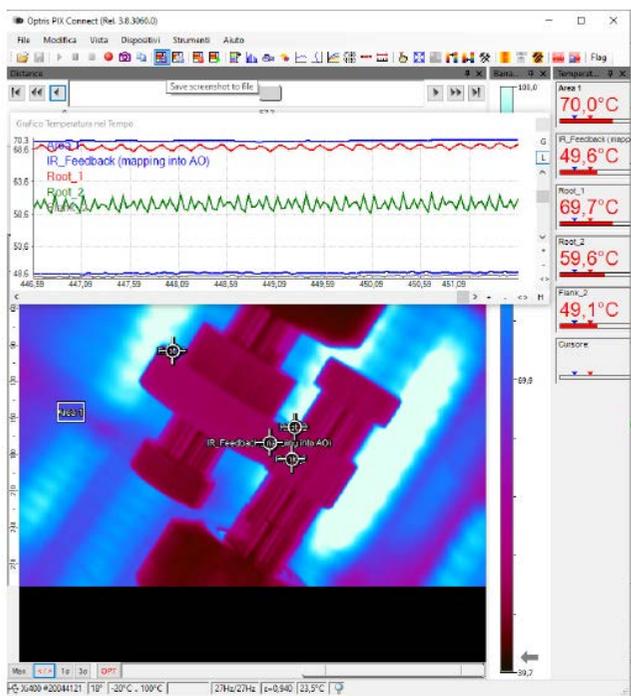


Figura 5. La cella climatica viene costantemente tenuta in controeazione attraverso un software di controllo

Il banco prova è del tipo “non mechanically closed loop”, come indicato nella VDI 2736 parte 4 (figura 1). La velocità e la coppia del motore e del freno sono controllati da un encoder e da un torsionometro (figura 2). Gli ingranaggi sono collocati all’interno di una cella climatica per eseguire test a temperature differenti (figura 3). L’interasse di montaggio viene scelto in modo garantire il gioco in tutto il range di temperature, da quella di montaggio a quella di test. I diversi coefficienti di dilatazione termica dei vari materiali (ruote e cassa) richiedono infatti un’attenta analisi di questo aspetto, che viene preventivamente eseguita sul software KISSsoft. La temperatura all’interno della cella climatica può essere gestita mantenendo costante la temperatura del fianco del dente o del

METODI DI CALCOLO

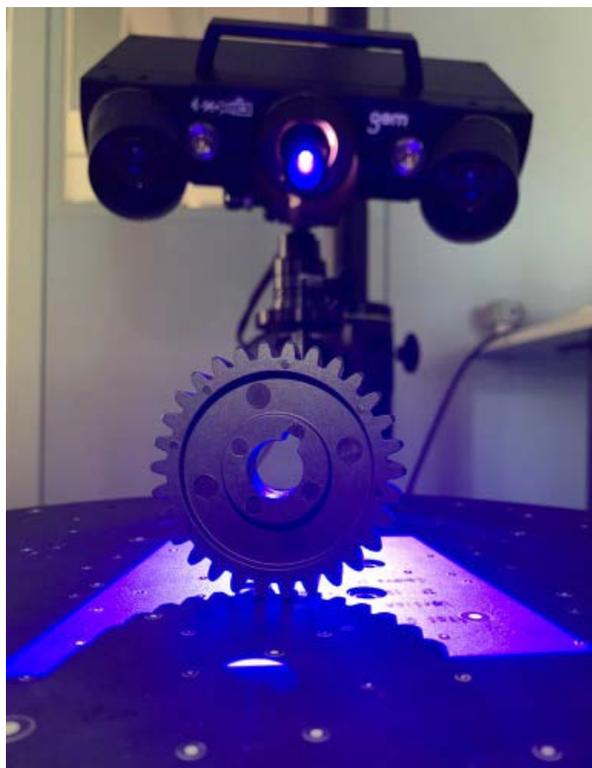


Figura 6. Geometria generata con uno scanner 2D e 3D

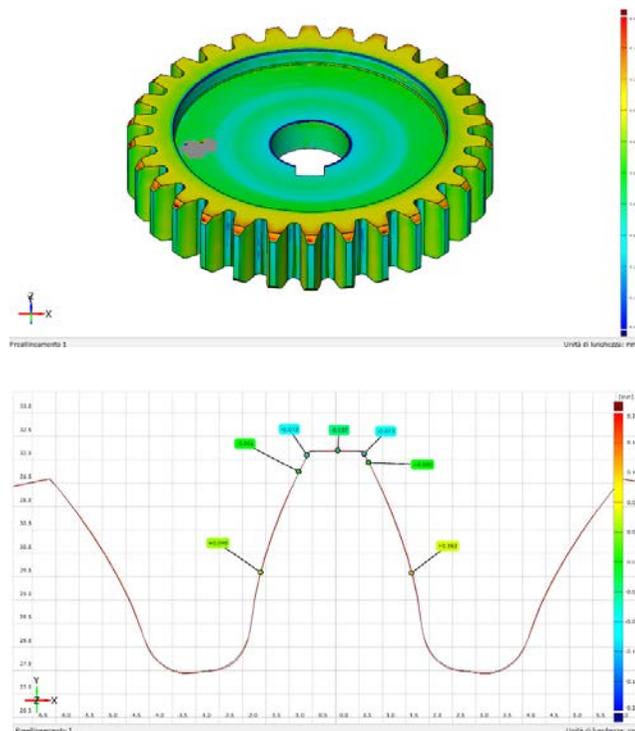
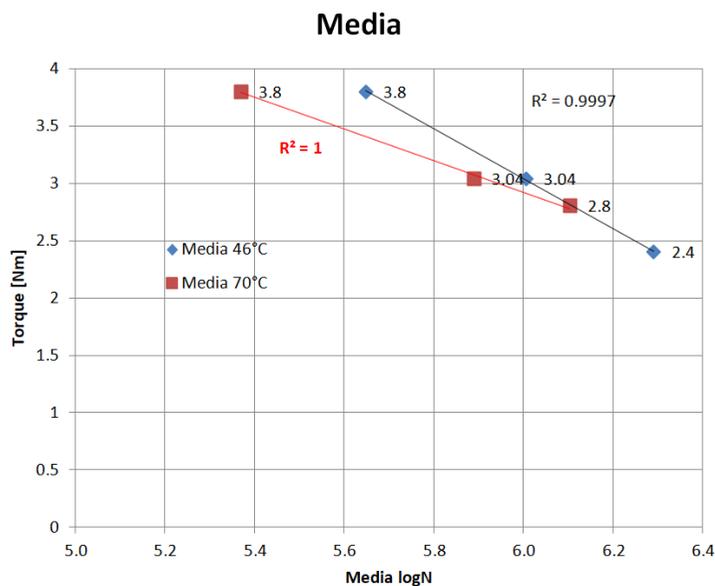
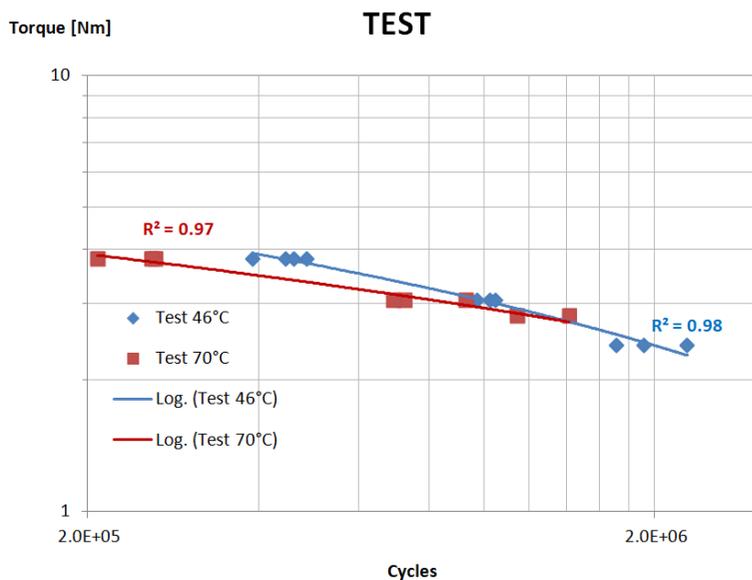


Figure 7 e 8. Confronto tra la geometria misurata (nuvola di punti) e la geometria generata in KISSsoft



GRAFICI 1 E 2. PUNTI MEDI DI OGNI PROVA

pie del dente o dell'aria all'interno della cella stessa. La cella climatica viene costantemente tenuta in controreazione attraverso un software di controllo che riceve ed elabora i segnali termici inviati sia dalla sonda PT100 che si trova al suo interno, sia dalla termocamera (figura 5).

Il banco prova è in grado di eseguire test a secco, in bagno d'olio o con grasso.

Nel banco è stato implementato un sistema di arresto istantaneo della rotazione che interviene appena si verifica la rottura di un dente (figura 4).

Le caratteristiche del banco prova sono le seguenti:

- Interasse: da 20 mm a 150 mm con risoluzione $\pm 0,01$ mm
- Coppia: fino a 10 Nm con risoluzione $\pm 0,1$ %
- Velocità: da 500 a 4000 rpm con risoluzione 20 bit/rev
- Temperatura: da -15 °C a $+150$ °C con risoluzione termo camera. $\pm 0,037$ °C.

Le condizioni di prova sono definite dai seguenti tre parametri:

- velocità dell'albero di ingresso [giri/min],
- temperatura del fianco del dente della ruota da testare [°C],
- momento torcente sull'ingranaggio condotto [Nm].

Prima del test, gli ingranaggi vengono messi in rotazione a velocità costante senza l'intervento del freno, fino al raggiungimento della temperatura richiesta, per favorire un riscaldamento graduale e uniforme. Ovviamente, questa fase transitoria di riscaldamento verrà successivamente eliminata durante la post-elaborazione.

Nelle tabelle 1 e 2 e vengono riportati i risultati di un test su ruote in POM per la rottura a flessione del piede del dente. La ruota in POM ingrana con

No. test	rpm ingranaggio acciaio	rpm ingranaggio POM	Coppia ingranaggio POM [Nm]	Cicli, 106	Temperatura piede T [°C], POM	Temperatura fianco dente T [°C], POM	Temperatura piede T [°C], acciaio	Temperatura fianco T [°C], acciaio
1	600	291,4	3,8	0,44705	46,1	49,8	47,5	47,3
2	600	291,4	3,8	0,486406	45,1	50,0	45,9	48,3
3	600	291,4	3,8	0,389887	47,4	50,6	45,9	47,2
4	600	291,4	3,8	0,461316	45,8	49,9	44,4	48,6
5	600	291,4	3,04	1,023304	46,0	50,0	43,7	48,1
6	600	291,4	3,04	1,047264	46,5	49,9	49,2	49,3
7	600	291,4	3,04	0,973669	46,4	49,9	48,7	48,2
8	600	291,4	2,4	1,915417	47,5	49,9	47,4	48,6
9	600	291,4	2,4	2,281196	47,3	49,8	49,3	48,6
10	600	291,4	2,4	1,710907	47,1	49,8	47,7	48,6

TABELLA 1. RISULTATI DI UN TEST SU RUOTE IN POM

No. test	rpm ingranaggio acciaio	rpm ingranaggio POM	Coppia ingranaggio POM [Nm]	Cicli, 106	Temperatura piede T [°C], POM	Temperatura fianco dente T [°C], POM	Temperatura piede T [°C], acciaio	Temperatura fianco T [°C], acciaio
1	600	291,4	3,8	0,26376	71,3	74,9	70,7	70,9
2	600	291,4	3,8	0,208031	69,8	74,9	69,5	69,5
3	600	291,4	3,8	0,259666	68,3	74,9	68,2	68,1
4	600	291,4	3,04	0,724254	73,7	74,9	72,7	71,7
5	600	291,4	3,04	0,693538	73,7	74,9	71,3	72,2
6	600	291,4	3,04	0,931471	74,9	74,8	76,4	71,7
7	600	291,4	2,8	1,143939	77,3	74,9	75,2	72,8
8	600	291,4	2,8	1,415398	78,2	74,9	77,5	72,8

TABELLA 2. RISULTATI DI UN TEST SU RUOTE IN POM

una ruota in acciaio in rapporto 1:1. L'errore medio calcolato sulle misure effettuate è inferiore al 2%. I punti medi di ogni prova su un grafico semilogaritmico mostrano una correlazione del 97% (grafici 1 e 2).

A parità di materiale si evidenzia che le due curve hanno pendenze diverse per temperature diverse.

Geometria delle ruote testate

Per derivare le caratteristiche del materiale dai risultati delle prove sperimentali è stato usato il modulo Plastic Manager del software KISSsoft (figura 6), che segue le indicazioni della VDI 2736-4 e richiede la conoscenza della geometria delle ruote testate.

Nel caso in esame, non erano disponibili né i disegni di progetto né i modelli CAD degli ingranaggi. È stata quindi rilevata la geometria con uno scanner 2D e 3D (figura 6). Il confronto tra la geometria misurata (nuvola di punti) e la geometria generata da KISSsoft è mostrato nelle figure 7 e 8. •

Riconoscimenti:
Uno speciale ringraziamento va a UNILAB Laboratori Industriali s.r.l. per il supporto prestato.