

# Serraggio controllato

di Luca G. Bochese

## Premessa

Sempre più produttori di componenti richiedono un controllo del momento torcente (o coppia) applicato agli elementi di serraggio, soprattutto in presenza di guarnizioni o materiali particolari.

Particolare attenzione va quindi rivolta sia alle caratteristiche del filetto che al momento torcente (Nm) applicato. Per misurare questa grandezza vengono normalmente utilizzate chiavi e giraviti, solitamente denominati attrezzi dinamometrici, a lettura diretta o a disinnesto (scatto).

Nel primo caso il valore della coppia applicata viene visualizzato in modo istantaneo su un quadrante o display (figura 2), l'operatore deve continuamente osservare l'indicatore (lancetta) e fermarsi quando viene raggiunta la coppia desiderata.

Nel secondo caso, il valore nominale viene impostato su un indicatore (che può anche essere digitale, nei modelli più recenti) e l'attrezzo viene utilizzato come una normale chiave.

Al raggiungimento del momento torcente preimpostato, la chiave scatta e smette di applicare il momento torcente. Questo sistema è adatto per serraggi in continuo (figura 1).

Alcune varianti di questa tipologia non dispongono di un indicatore o una scala che permette all'operatore di impostare il valore. Per questi modelli, utilissimi per evitare qualunque tipo di manomissione, è necessario disporre di un banco torsionometrico (vedi figura 4) per poter impostare il momento torcente desiderato.

In questo caso il responsabile del collaudo imposta il valore desiderato e "blocca" la chiave, che potrà essere utilizzata solo per una ben specifica applicazione. Questo sistema è adatto per serraggi in continuo, dove non occorre variare frequentemente il valore della coppia impostata.

Le chiavi dinamometriche a disinnesto sono utilizzate in numerosi settori, nei reparti di assemblaggio, nelle officine meccaniche e sono presenti in quasi tutte le autorimesse per la riparazione di autoveicoli.



Fig. 1. Esempio di chiave dinamometrica per serraggi controllati da 1 a 12 Nm



Fig.2 Esempio di chiave dinamometrica a lettura diretta

Da quanto visto ora, appare evidente come le chiavi dinamometriche siano, a tutti gli effetti, veri e propri strumenti di misura (lettura diretta) e *parenti prossimi* di strumenti di misura (a scatto).

Purtroppo, esse non vengono normalmente trattate come tali. Pur avendo, infatti una diffusione elevatissima (pensiamo al numero di officine meccaniche, dove vengono eseguite operazioni di serraggio controllato su testate

motore, candele, ruote di autoveicoli e camion, per non parlare dell'assemblaggio in serie nel settore automotive), esse vengono considerate come "parenti" delle pinze o cacciaviti, e spesso tratte come tali.

La scarsa "attenzione", diversamente a quanto accade con altre tipologie di strumenti (micrometri, calibri,..) genera di conseguenza una scarsa qualità del "serraggio controllato". In altre parole, il legame tra le misure ed i riferimenti ai corrispondenti campioni nazionali (catena metrologica) è piuttosto labile.

Naturalmente, le aziende che hanno a che fare con problemi di sicurezza (es. recipienti a pressione, aeronautica) o garanzia (settore automobilistico) sono più sensibili ed affrontano, anche per gli attrezzi dinamometrici, argomenti quali la ripetibilità, riproducibilità, taratura, stabilità nel tempo.

La cultura metrologica nel serraggio controllato ha ancora parecchia strada da percorrere, ma i segnali di un crescente interesse non mancano.

Come facciamo a sapere se la nostra chiave dinamometrica scatta al punto giusto? Per saperlo è necessario farla tarare, internamente o presso un Centro di taratura. Il certificato di taratura conterrà informazioni utili, che ci permetteranno di apportare le necessarie regolazioni prima dell'uso.

### La struttura interna di un attrezzo dinamometrico

Lo spaccato mostra un esempio della struttura interna di una chiave dinamometrica a scatto.

Il cuore del sistema è costituito dalla molla che esercita una forza contro un elemento, collegato, tramite una serie di rinvii di demoltiplica, al quadro della chiave. Comprimendo la molla tramite la vite sull'impugnatura, la forza esercitata dalla molla sull'elemento aumenta. Per far scattare la chiave l'operatore dovrà vincere questa forza. La capacità di convertire esattamente la forza  $F$  esercitata dalla molla nei Nm richiesti al serraggio, e la costanza di questa "trasformazione", sono il segreto di una buona chiave dinamometrica.



Fig. 3. Spaccato di una chiave dinamometrica a scatto

### Taratura delle chiavi dinamometriche

La normativa di riferimento per la taratura degli "attrezzi" dinamometrici (chiavi e giraviti) è la UNI EN 26789 (ISO 6789:1992), che prevede l'effettuazione di cinque scatti ("a vuoto", senza registrare la misura) a fondo scala, quindi la misurazione di cinque scatti consecutivi, rispettivamente nelle posizioni al 20%, 60% e 100%, del massimo momento torcente riportato sull'indicatore della chiave dinamometrica.

Il fatto che la normativa stessa parli di "attrezzi" e non di "strumenti" torsionometrici ci riporta alle considerazioni sviluppate all'inizio di questo articolo.

Ad esempio, per una chiave fino a 100 Nm occorrerà effettuare cinque scatti a fondo scala, misurare cinque scatti a 20 Nm, a 60 Nm ed a 100 Nm, confrontando tra loro i valori impostati sulla chiave (effettivi) e quelli registrati dal banco torsionometrico (che chiameremo nominali, intendendo con ciò che si tratta dei valori "di riferimento").

In sostanza, se nessuno dei 15 punti così misurati è al di fuori delle tolleranze previste per questa tipologia di strumento, fissata dalla normativa nel 4% del valore nominale, la chiave è considerata conforme secondo la normativa UNI EN 26789.

## Dispositivi manuali per la taratura delle chiavi dinamometriche

Per costruire correttamente la catena metrologica nella nostra azienda, in funzione del numero di chiavi dinamometriche da tenere sotto controllo, può essere conveniente dotarsi di un proprio campione di prima linea (come ad esempio un banco torsionometrico) ed effettuare internamente la taratura periodica delle chiavi. Tale dispositivo viene naturalmente utilizzato anche per impostare correttamente le chiavi regolabili.

Il sistema di misura presente in un banco torsionometrico si basa normalmente sulla misurazione della deformazione di un elemento elastico, ma esistono in circolazione anche modelli basati su sistemi idraulici. I banchi torsionometrici hanno solitamente campi di misura da 10 Nm a 1000 Nm ed una incertezza di misura dell'1%, adatta a controllare chiavi dinamometriche che, come detto hanno una tolleranza, in funzione del campo di misura, del 4% o 6%.

La normativa è ancora in fase di approvazione, ma possiamo già anticipare che la tolleranza ammessa per attrezzi dinamometrici fino a 10 Nm è stata ampliata al 6%, a causa dell'importanza degli attriti interni per piccoli valori di coppia.

Occorre anche tener presente, quando si tarano chiavi dinamometriche utilizzando questi dispositivi, che non è facile garantire un'incertezza di misura costante lungo un campo di misura così ampio.

Questo è uno dei motivi per cui, quando è richiesta una certa accuratezza dei risultati, è conveniente suddividere il campo di misura in più chiavi dinamometriche, piuttosto che acquistare una singola chiave dinamometrica che riesca a coprire tutto il campo di misura richiesto.

L'incertezza di misura cresce al diminuire del valore di coppia. In altre parole, per tarare chiavi dinamometriche a piccoli valori di coppia, vicino al minimo del banco torsionometrico (es. 10 – 15 Nm) occorre utilizzare un dispositivo abbastanza sensibile, tendenzialmente fino a 30 – 50 Nm.

A bassi valori di coppia gli attriti interni del dispositivo hanno una notevole influenza sul valore nominale.

Per migliorare sensibilmente la riproducibilità degli scatti è consigliabile fissare il banco torsionometrico alla struttura in alluminio visualizzata in fig. 5, sulla quale è montato un carrello con una manovella, che permette di applicare la forza in modo più continuo e lineare.

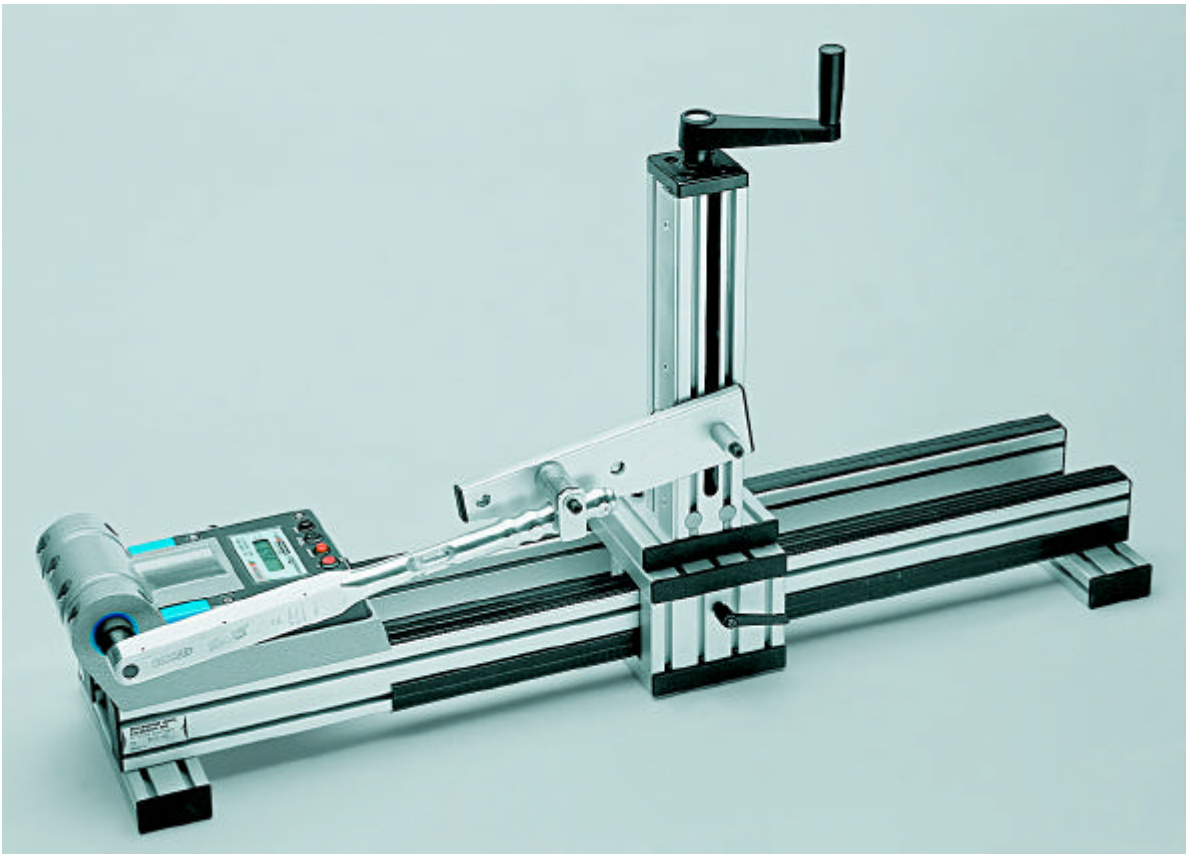


Fig. 4. Dispositivo manuale per la taratura di chiavi dinamometriche

## Software per la taratura delle chiavi dinamometriche

Collegando il banco torsionometrico ad un PC è possibile raccogliere i dati dei picchi, gestire diverse tipologie di strumenti (scadenziario, dati storici, etc.) e redigere rapporti di controllo secondo UNI EN 26789, utilizzando un software come QMSOFT.

QMSOFT si inserisce in un discorso molto più ampio di gestione della strumentazione di misura per il Centro di taratura o la sala controllo aziendale, anche via Internet/Intranet (e-calibration).

Utilizza le norme VDI/VDE 2618 per la taratura dei più diversi strumenti di misura. Contiene le normative per filettature (ANSI/ASME, DIN 13, DIN 103, DIN 802, DIN ISO 228, BS 84, Helicoil, DIN 405, DIN 513,...), tastatori, blocchetti di riscontro, micrometri per interni ed esterni, testine micrometriche, altimetri, alesametri, calibri a forchetta, tamponi ed anelli, sia lisci che filettati, spine calibrate, comparatori di ogni tipo.

QMSOFT permette l'archiviazione, il richiamo, la stampa, il controllo delle scadenze di taratura degli strumenti di misura, effettua la taratura con inserimento delle misure manuale (es. per calibri e micrometri controllati con blocchetti piano paralleli) oppure dai banchi di controllo, effettua i calcoli delle tolleranze standard e la valutazione dello strumento, e permette di redigere, archiviare e stampare rapporti di controllo in un formato personalizzato.

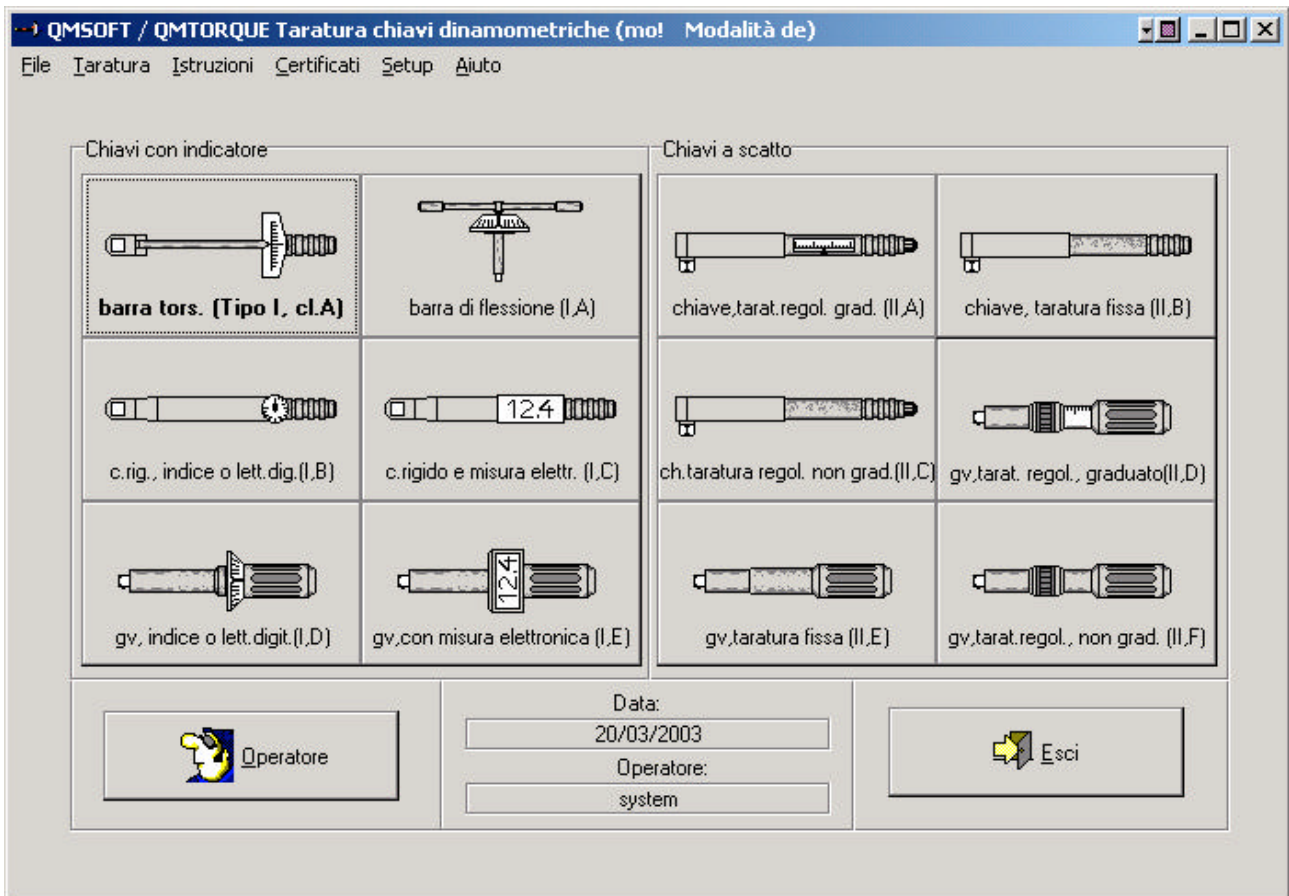


Fig. 5. Un esempio di software di gestione e taratura di chiavi dinamometriche di varie tipologie ([www.boch.net](http://www.boch.net))

## Dispositivi automatici per la taratura delle chiavi dinamometriche

La figura 6 mostra un dispositivo automatico di taratura.

In questo caso la coppia viene applicata da un motore, collegato direttamente al trasduttore torsionometrico di riferimento e, tramite un cambio meccanico a due velocità, alla chiave da tarare. Durante l'applicazione della coppia da parte del motore, il sensore rileva fino a 2000 misure istantanee al secondo e permette di generare i grafici coppia/tempo. Il software identifica il picco, lo confronta con la misura nominale del sensore e redige il certificato di taratura secondo UNI EN 26789. Le figure dalla 11 alla 13 sono state ricavate con questo software.

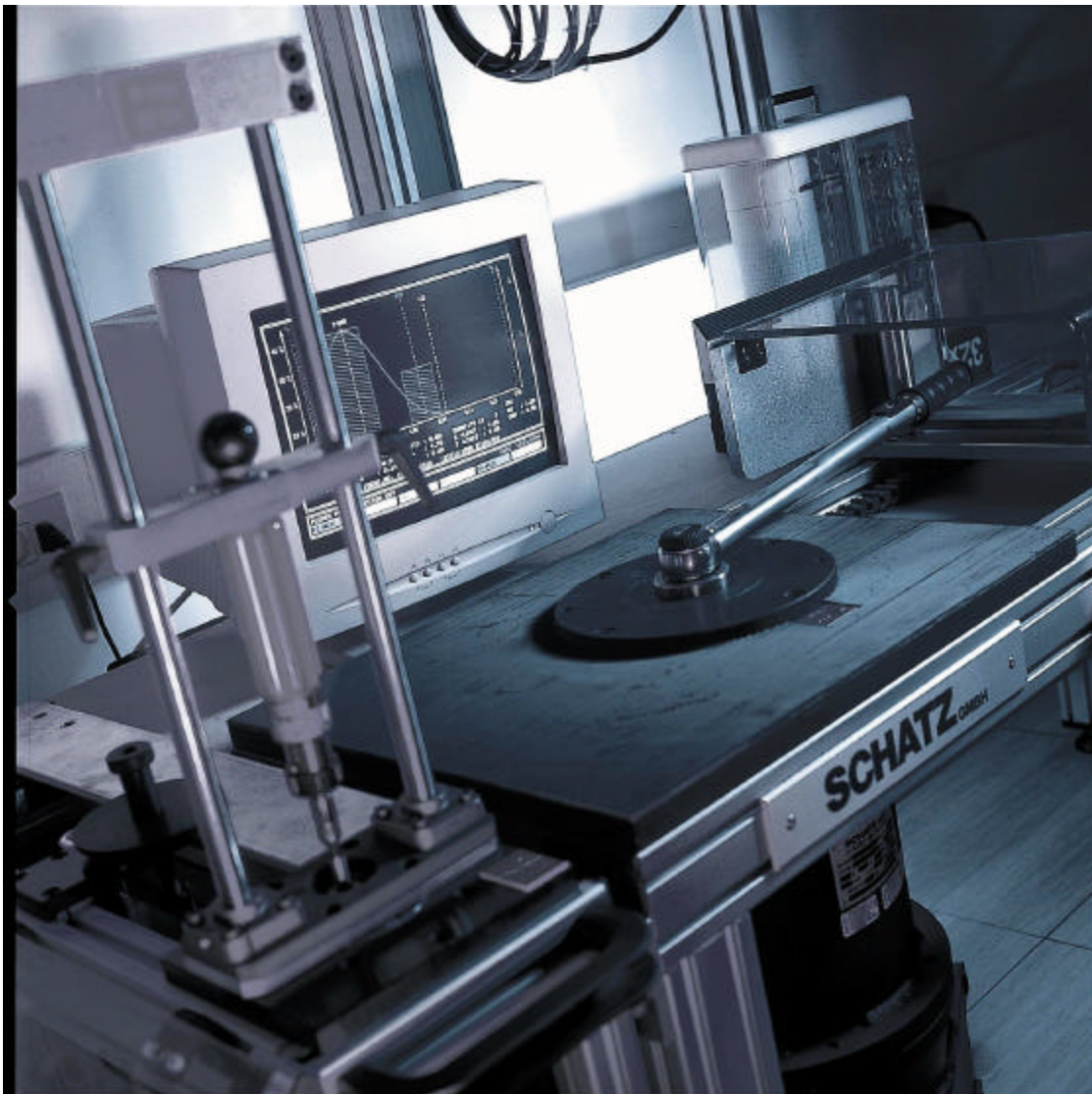


Fig. 6 Dispositivo automatico per la taratura delle chiavi dinamometriche (foto cortesia Prore – Milano Centro SIT 145)

## Sequenza standard di disinnesto

Dopo questa panoramica sulle modalità di taratura delle chiavi e dei banchi torsionometrici, passiamo ad analizzare il fenomeno dello “scatto” (o disinnesto) ed i suoi effetti sull'incertezza di misura.

La figura 7 raffigura una normale sequenza di misure rilevate su scatti successivi della stessa chiave, senza cambiare l'impostazione (20 Nm).

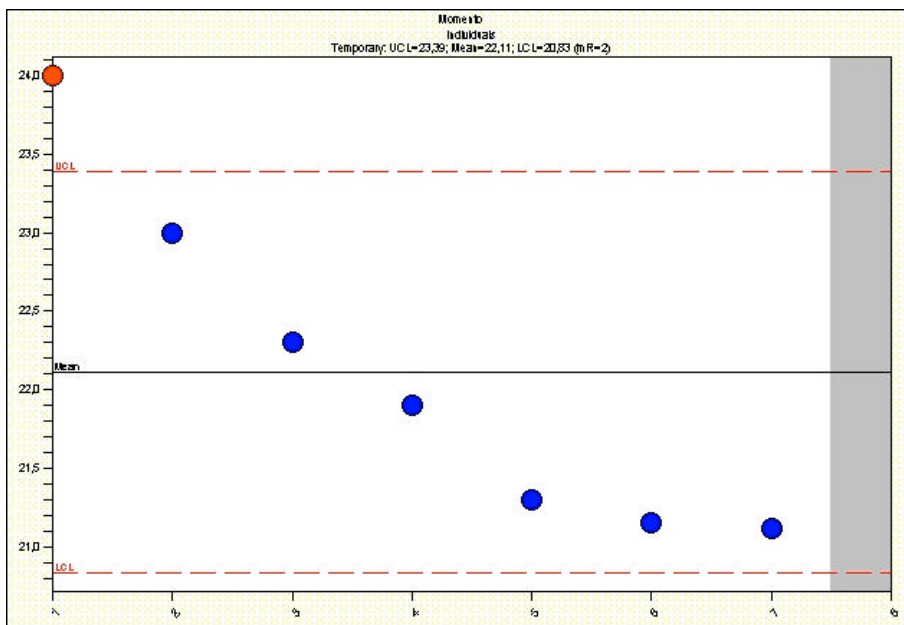


Fig. 7. Sequenza tipica di scatti successivi per una chiave a scatto

I primi punti sono sempre più in alto e decrescono gradualmente, per un fenomeno dovuto principalmente all'assestamento degli elementi interni e della molla. Questo comportamento indica una stretta correlazione delle misure e complica notevolmente le formule da utilizzare per la valutazione dell'incertezza di misura.

Occorre tener presente che questo fenomeno non è identico per tutti i tipi di chiavi presenti sul mercato, alcune chiavi presentano questo comportamento in modo più marcato rispetto ad altre, ma, in pratica, i primi serraggi vengono quasi sempre eseguiti a valori di momento torcente più elevati.

Un altro problema deriva dal diverso comportamento delle tipologie di chiave in prossimità del punto di disinnesto, vediamo qualche esempio reale:

La figura 8 rappresenta la situazione ideale, uno scatto preciso, costituito da un picco ben identificato, una discesa abbastanza ripida ed una successiva risalita. A seconda del modello di chiave, l'operatore viene avvisato da un segnale acustico (suono ben definito dello scatto, vibrazione sull'impugnatura) oppure visivo.

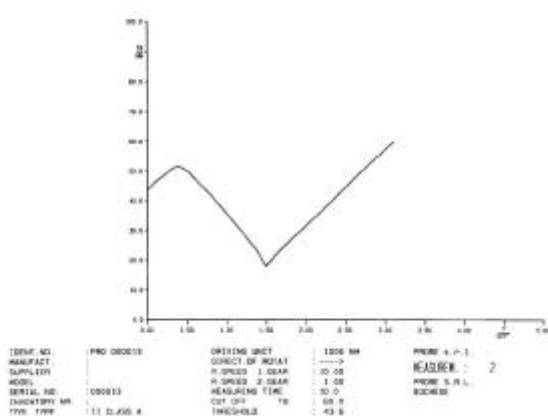


Fig. 8. Una buona chiave dinamometrica presenta uno scatto netto con un picco ben definito corrispondente al valore predefinito di momento torcente impostato sull'indicatore

La situazione non è sempre così chiara e definita. L'andamento "indeciso" della figura 9, con più picchi locali e relativamente vicini, può confondere l'operatore e portare a serraggi più elevati del previsto.

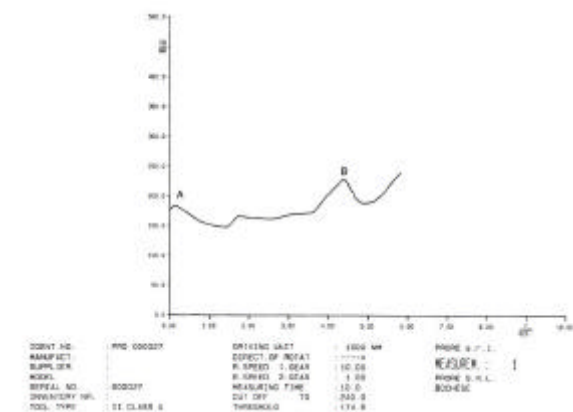


Fig. 9 In questa situazione, per nulla ideale, l'operatore non riesce a decidere se lo scatto è avvenuto al punto giusto e difficilmente si potrà ottenere una costanza di serraggio.

Il grafico 10 è relativo ad una chiave che non presenta uno "scatto" nel vero senso della parola, ma un "cedimento". Al raggiungimento del valore impostato la chiave "cede" in modo graduale.

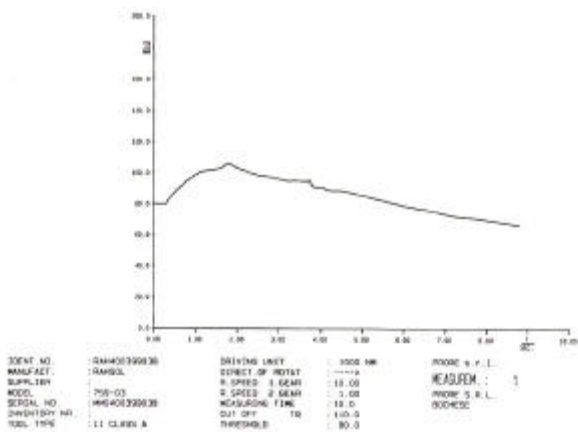


Figura 10. Con questo andamento non è possibile incrementare ulteriormente il momento applicato. Questa tipologia di chiave è chiamata "slipper" o "tipo da produzione"

## Frequenza di serraggio

Abbiamo riportato qui 20 misure successive, valore nominale 20 Nm con intervalli rispettivamente di 2, 120 e 300 secondi tra scatti successivi. Il primo scatto è stato sempre tenuto in considerazione.

La chiave è stata scaricata e mantenuta tale per almeno 6 ore, tra un ciclo di 20 misure e quello successivo, in modo da ridurre al minimo le interazioni tra cicli.

Dall'andamento dei punti si evince che una dipendenza da n (ID scatto) e dal tempo lasciato a disposizione della molla per una completa "distensione". E' importante che l'operatore sia conscio dell'effetto della "frequenza di serraggio. Un ulteriore effetto di disturbo, che possiamo chiamare di lungo periodo, deriva dal fatto che, purtroppo, gli attrezzi dinamometrici non vengono "riportati a zero" dopo l'uso. La continua compressione della molla può condurre ad un decadimento delle prestazioni dello strumento.

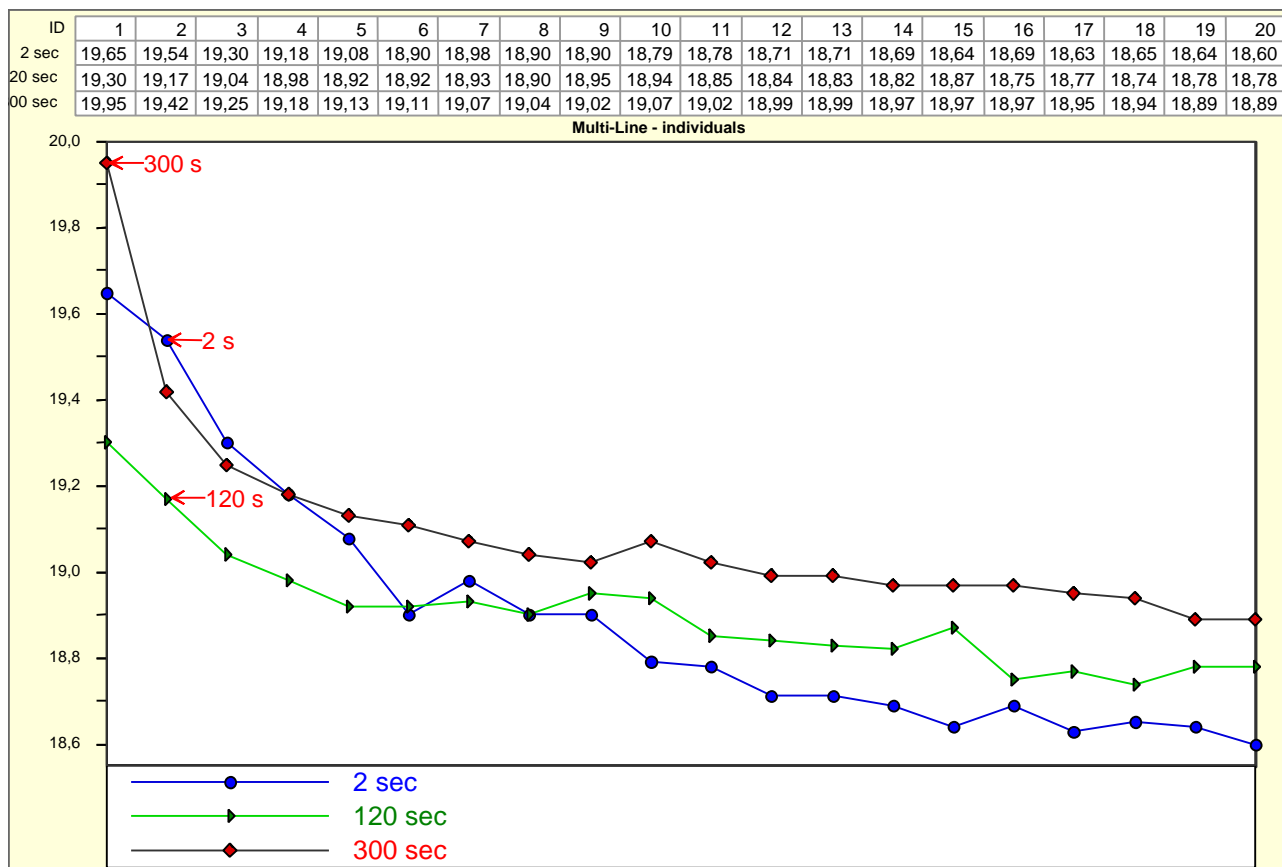


Fig. 11. Sequenze di scatti intervallati a distanza di 2, 120 e 300 secondi

### L'influenza dei primi scatti

L'importanza dei primi scatti si nota anche esaminando gli istogrammi che simulano le "popolazioni" di tutti gli scatti effettuati da una chiave in una posizione determinata.

Prendiamo in esame l'istogramma relativo alle 60 misurazioni effettuate, in 3 cicli successivi da 20 scatti ciascuno, tenendo buono anche il primo scatto. Si nota una evidente coda verso destra: i valori più alti "spostano" il peso verso destra (si dice che la distribuzione ha una *skewness*). Cerchiamo ora di capire quanti scatti dobbiamo togliere per avere una distribuzione gaussiana, basandoci sul test chi-quadrato.



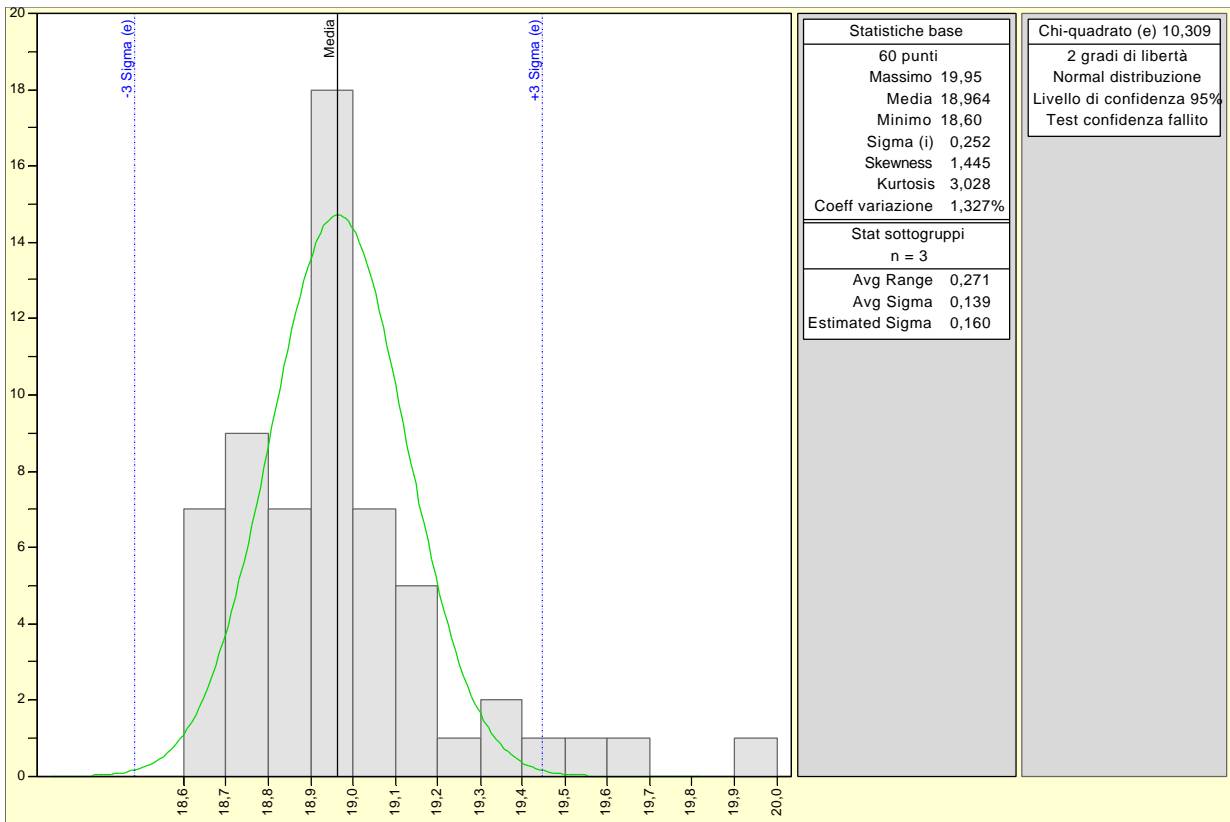


Fig. 12. Campione di 60 misure, considerando anche i primi scatti, relativa ai punti della fig.11

Procedendo per gradi, eliminando in successione i primi scatti ed applicando ripetutamente il test statistico chi-quadrato, scopriamo che la distribuzione contenente "tutti" i valori comincia a diventare gaussiana dopo che sono stati rimosse le prime 4 misure per ognuno dei 3 cicli (figura 13), considerando quindi 48 misure anziché 60.

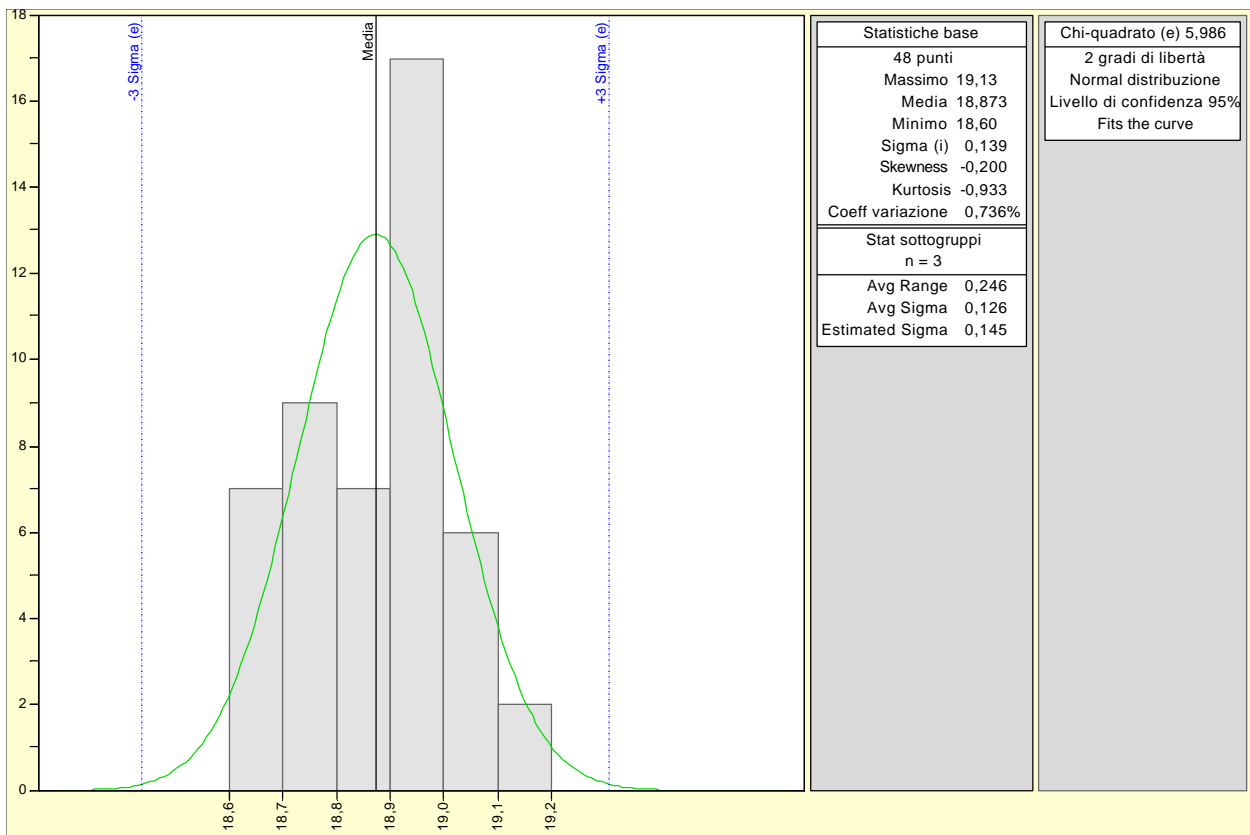


Fig. 13. Campione di 48 misure, escludendo i primi 4 scatti per ognuna delle serie della figura precedente

## Conclusioni e consigli per l'uso degli attrezzi dinamometrici

Suggerimenti validi per l'operatore, che dovrebbe essere conscio del comportamento tipico di questo tipo di strumento e prendere le dovute precauzioni, sono i seguenti:

- guardare il certificato di taratura ed apportare le dovute correzioni
- effettuare alcuni scatti "di assestamento" a vuoto prima di effettuare il serraggio vero e proprio
- mantenere un intervallo di tempo più o meno costante tra serraggi successivi
- eseguire il serraggio mantenendo costante la velocità di azionamento, senza "strappi"
- ricordare che gli adattatori applicati alla chiave contribuiscono, non essendo vincolati rigidamente all'attacco quadro, a generare un'incertezza di misura aggiuntiva

Per garantire che le prestazioni e l'accuratezza delle vostre chiavi dinamometriche per lungo tempo è sufficiente seguire qualche semplice regola:

- riporre la chiave con cura dopo l'uso,
- riportare sempre la chiave a zero dopo averla utilizzata,
- tarare la chiave ad intervalli prefissati o farla tarare presso un Centro accreditato. Per stabilire una frequenza di taratura "sensata" fare riferimento alla frequenza d'uso e classificare l'importanza del serraggio.

Se volete capire meglio come si comporta la vostra chiave dinamometrica ed avete a disposizione un banco torsionometrico, potete effettuare studi di ripetibilità e riproducibilità. Potreste scoprire, ad esempio, che per la vostra chiave non è necessario effettuare qualche scatto a vuoto, ma che ha un comportamento perfettamente lineare, oppure che i valori non sono così dipendenti dall'operatore come ci si attendeva.

Anche le aziende che, giustamente, fanno tarare periodicamente i propri strumenti, molto spesso commettono l'errore di utilizzare i certificati semplicemente per dimostrare l'avvenuta taratura durante le verifiche ispettive al Sistema Qualità aziendale, invece di adoperarli in modo attivo.

I certificati vanno letti, ma soprattutto vanno osservate le tabelle che riportano i valori nominali e quelli effettivi riportati dal Centro.

Infine, consigliamo di non utilizzare una singola chiave con un elevato campo di misura, ma se possibile, suddividere l'intero campo richiesto su più chiavi.

## Futuri sviluppi

E' in fase preparatoria uno studio che coinvolge alcuni Istituti di Metrologia europei (Italia, Francia, Repubblica Ceca, Svezia), con lo scopo di determinare linee guida comuni per la valutazione dell'incertezza di misura per le chiavi dinamometriche. L'individuazione ed analisi delle sorgenti di incertezza e l'approfondimento del fenomeno fisico permetteranno ai produttori di tali strumenti di migliorare costantemente le prestazioni dei propri strumenti in termini di accuratezza, ripetibilità, riproducibilità e stabilità nel tempo.

*Si ringraziano la Prore S.r.l. di Milano - Centro di Taratura SIT 145 ([www.prore.it](http://www.prore.it)) e la Rahsol GmbH (Germania [www.gedore.de](http://www.gedore.de)) per l'assistenza e la preziosa documentazione fornita. Per altri riferimenti sulle ricerche in corso visitare [www.feanor.com](http://www.feanor.com)*