



#### KEYWORDS

Time under tension, resistance training, muscle hypertrophy, neuromuscular fatigue, training volume.

# Adattamenti neuromuscolari attraverso il Time Under Tension (TUT): una prospettiva fisiologica e metodologica

## DEFINIZIONE: CHE COS'È DAVVERO IL TUT (E COSA NON È)

In senso strettamente operativo, il TUT è il **tempo totale (in secondi)** in cui la muscolatura è sottoposta a tensione durante un set di esercizio contro resistenza.

Nella sua formulazione più usata, il TUT di una serie è la somma delle durate di **fase concentrica**, eventuale **quasi-isometria/pausa**, e **fase eccentrica** di ciascuna ripetizione, moltiplicata per il numero totale di ripetizioni eseguite.

Questa definizione sembra semplice, ma contiene già due implicazioni cruciali:



**Dott. Francesco Piccolo**  
Chinesiologo, laureato magistrale in Scienze Motorie.  
[francesco.piccolo.30@gmail.com](mailto:francesco.piccolo.30@gmail.com)

- 1. Il TUT è un descrittore temporale del "tempo di stimolazione":** a parità di esercizio, è un modo per approssimare "quanto a lungo" un tessuto è stato esposto a tensione (non necessariamente "quanta tensione" ha sperimentato).
- 2. Il TUT non è sinonimo di "allenarsi lentamente":** la lentezza (*rep duration*) è solo una via per aumentare il TUT, ma il TUT può crescere anche con più ripetizioni, più serie, più densità (meno recupero), cluster set o combinazioni di questi elementi. Inoltre, la durata della ripetizione è solo una parte del problema: è determinante anche la **distribuzione temporale** tra eccentrico/concentrico/isometrico, concetto che Taigo e Boutellier considerano destinato a diventare parte integrante della descrizione dell'allenamento contro resistenze.

Un punto spesso trascurato è che il "volume" dell'allenamento può essere definito in modi diversi. Oltre al classico **volume load** (ripetizioni × carico), il volume può essere concettualizzato come **tempo cumulato in tensione**, cioè TUT, e alcuni autori formalizzano costrutti che integrano entrambe le dimensioni (tempo e carico), come il dynamic training volume proposto da Tran e Docherty.

## IL TUT: UN MODELLO INTEGRATO "TENSIONE-METABOLITI-DANNO-FATICA"

L'ipertrofia e gli adattamenti di forza non dipendono da un singolo stimolo, ma da un insieme di segnali meccanici e metabolici. La triade classica (sollecitazione meccanica, danno muscolare, stress metabolico) è la cornice esplicativa degli adattamenti ipertrofici.

Il TUT è una variabile interessante perché **può modulare simultaneamente:**



- **Tensione meccanica:** prolungare la tensione può aumentare il tempo di esposizione dei sarcomeri a carico e deformazione, influenzando la trasduzione mecano-chimica.
- **Stress metabolico:** un tempo più lungo in contrazione, specie con recuperi incompleti e/o con enfasi eccentrica/isometrica, aumenta la probabilità di ipossia locale, accumulo di metaboliti e percezione dello sforzo.
- **Affaticamento neuromuscolare:** aumentare TUT (o TUT a parità di volume load) può incrementare la fatica, con possibili ricadute sia acute (riduzione performance, alterazioni contrattile) sia croniche (stimolo adattativo se la dose è tollerabile).

È possibile distinguere chiaramente tra **tensione interna** (derivante dalla formazione di *cross-bridges* actina-miosina) e **tensione esterna** (trasmessa a ossa e leve attraverso tendini e tessuti connettivi). A livello di fibra, il tempo disponibile per la formazione e il mantenimento dei *cross-bridges* può variare con la velocità di contrazione: ridurre la velocità può aumentare il tempo in cui ponti trasversali restano attivi, ma ciò non implica automaticamente maggior picco di forza, né garantisce che la "dose meccanica" totale sia superiore se, per esempio, il carico deve essere ridotto. Una criticità ricorrente è la distanza tra **tempo prescritto** e **tempo realmente eseguito**: i partecipanti possono non rispettare la cadenza se non adeguatamente sorvegliati, vi sono difficoltà pratiche nell'eseguire il TUT "istruito" senza supervisione, e questo è un problema metodologico che può spiegare parte delle contraddizioni tra gli studi.

Per rendere il TUT una variabile "scientifica" (cioè controllabile e riproducibile) servono sistemi di misura/feedback:

- **Metronomo** (controllo diretto della cadenza): molti studi vengono criticati quando non lo usano, perché il ritmo diventa una variabile non controllata.
- **Linear position transducer/ segnali di posizione:** la rappresentazione delle fasi della ripetizione tramite segnale di posizione lineare consente di separare in modo oggettivo eccentrico/concentrico/isometrico.
- **Accelerometria triassiale:** tecnologie indossabili possono stimare ripetizioni e "time features" dell'allenamento.

Tra i lavori più informativi sul rapporto tra TUT e fatica c'è lo studio di Tran, Docherty e Behm (2006), spesso citato anche nelle sintesi ACSM più recenti sul tema del resistance training.

Nei protocolli sperimentali, variando TUT e volume load su flessori del gomito, gli autori osservano che **l'aumento della fatica** risulta connesso all'aumento sia di TUT sia di VL, ma con un elemento chiave: **l'incremento del TUT** sembra associarsi a un affaticamento più marcato. Inoltre, la mancata variazione dell'ID suggerisce un contributo più importante di meccanismi periferici (cioè "a valle" della giunzione neuromuscolare).

Interpretazione fisiologica: un TUT maggiore (specie se ottenuto prolungando fasi attive) può aumentare:

- accumulo di metaboliti e perturbazioni ioniche locali;
- stress sul *excitation-contraction coupling* (spiegazio-

ne di deficit di forza post-esercizio);

- degradazione transitoria delle proprietà contrattili, che può rappresentare uno stimolo se recupero e progressione sono adeguati.

**Punto pratico:** se il TUT aumenta la fatica "periferica", esso diventa una leva utile quando l'obiettivo è enfatizzare stress metabolico e deplezione locale; ma può diventare controproducente quando la priorità è mantenere alta qualità neurale/velocità e volume effettivo di lavoro.

#### EVIDENZE ENERGETICHE:

##### TUT, EPOC E COSTO METABOLICO

La relazione tra TUT e dispendio energetico è intuitiva: più dura un set, più a lungo si sostiene un metabolismo elevato. Tuttavia, gli studi sono facilmente confondibili perché, per ottenere TUT elevati, spesso si riducono i carichi e si alterano le condizioni.

Scott (2012) confronta tre protocolli di panca piana mantenendo costanti set, ripetizioni e intensità (70% 1RM), ma variando il ritmo per ottenere TUT differenti. TUT più lunghi generano maggiore EPOC e maggiore quota glicolitica e spesa energetica totale, suggerendo un effetto del tempo di completamento del lavoro.

Studi come Hunter et al. (2003) mostrano risultati che sembrano sfavorire il Super Slow sul costo energetico, ma vi è un limite frequente: il TUT non è l'unica variabile, perché cambiano anche intensità (%1RM) e/o volume. In questi casi, attribuire l'effetto al solo TUT diventa metodologicamente fragile.

Una delle evidenze più interessanti riguarda il lavoro di Burd et al. (2012), in cui il TUT durante

esercizio contro resistenza stimola risposte differenziali nella sintesi proteica delle sub-frazioni muscolari. Un TUT più prolungato è associato a incremento della sintesi di proteine mitocondriali e sarcoplasmatiche e, con latenza, anche della sintesi miofibrillare 24–30 ore dopo l'allenamento (marker rilevante per i guadagni di forza e volume).

Interpretazione applicativa: il TUT potrebbe non agire solo quantitativamente (più/meno ipertrofia), ma anche qualitativamente sul tipo di adattamento (componenti più metaboliche vs più contrattili), in funzione di come viene ottenuto (intensità, fatica, distribuzione eccentrico/isometrico, recuperi).

Una parte rilevante del TUT dovrebbe essere collocata in **fase**

**eccentrica**, anche per ragioni legate alla risposta connettivale (collagene) e a peculiarità dello stimolo eccentrico. Vi sono evidenze su sintesi di collagene e adattamenti della matrice extracellulare in risposta all'esercizio, oltre a considerazioni sull'efficacia eccentrica in ambito muscolare e riabilitativo.

Qui è utile distinguere:

- **Aumentare il TUT "a caso"** (solo più lento) può costringere a ridurre troppo il carico, impoverendo la tensione esterna.
- **Redistribuire il TUT** (es. eccentrica più controllata, brevi isometrie in posizione di svantaggio, concentrica efficiente) permette di modulare lo stimolo senza compromettere la qualità del lavoro.

### PERCHÉ I RISULTATI SONO CONTRADDITTORI: PROBLEMI METODOLOGICI RICORRENTI

Vi sono numerose ricerche con risultati contrastanti sul TUT e, soprattutto, sul metodo *Super Slow*.

Oltre alla fisiologia, c'è un problema di *disegno sperimentale*:

1. **Variabili concomitanti:** cambiano simultaneamente TUT, intensità, numero di ripetizioni, selezione esercizi, recuperi. In tal caso non è possibile attribuire gli effetti al TUT.
2. **Controllo del ritmo insufficiente:** assenza di metronomo o supervisione → bassa fedeltà del protocollo.
3. **Definizioni diverse di volume:** confronti "a parità di volume" spesso usano definizioni differenti (tonnellaggio vs tempo vs lavoro meccanico).



co), rendendo i risultati poco comparabili.

- 4. Outcome non omogenei:** forza massima, CSA, marker endocrini, costo energetico, sintesi proteica, ecc. rispondono con cinetiche e sensibilità diverse.

L'ACSM (2009) inserisce il TUT (durata ripetizione/serie) nel contesto dei modelli di progressione del resistance training, ma sottolinea implicitamente che l'allenamento è un sistema: TUT va letto insieme a intensità, volume, recupero e obiettivo.

Un TUT più lungo può produrre guadagni superiori finché il volume di allenamento non è gravemente compromesso. Questa frase è cruciale perché definisce un vincolo: aumentare il TUT ha senso se non riduce in modo eccessivo la quantità/qualità del lavoro utile. È possibile modulare il TUT in tre modalità differenti:

- 1. Aumentare il TUT per ripetizione** mantenendo costante il numero di ripetizioni e l'intensità (difficile, ma molto informativo e utile se applicabile).

- 2. Aumentare il TUT per serie** tramite più ripetizioni a ritmo simile (classico: più reps = più TUT).
- 3. Redistribuire il TUT** (eccentrica più lunga, micro-isometrie), mantenendo una concentrica "economica" per non crollare con il carico.

L'obiettivo allenante governa l'applicazione del TUT

**FORZA MASSIMA**

Priorità: alta tensione esterna, alta qualità tecnica, bassa-moderata fatica metabolica per serie.

- TUT tipicamente più breve per serie rispetto a protocolli metabolici, con enfasi su intento esplosivo in concentrica quando appropriato.
- Uso del TUT: principalmente come controllo della qualità eccentrica (ridurre "drop" tecnico, standardizzare) più che come obiettivo di allungamento estremo.
- Razionale: un aumento eccessivo del TUT può alzare la fatica periferica e ridurre la capacità di mantenere carichi elevati e output neurale,

come suggerisce la sensibilità dei parametri contrattile a manipolazioni di TUT.

**IPERTROFIA**

Priorità: sufficiente tensione meccanica e sufficiente stress metabolico, in un volume settimanale sostenibile.

- Uso del TUT: qui è più "centrale", perché può aumentare ischemia locale e accumulo metabolico e, potenzialmente, modulare la risposta di sintesi proteica.
- Strategia pratica: eccentrica controllata + concentrica efficiente; inserire isometrie brevi in posizioni di svantaggio può aumentare TUT senza distruggere il carico.

**RESISTENZA MUSCOLARE**

Intervalli di TUT più lunghi (ordine di decine di secondi) vengono associati a lavoro maggiormente lattacido e, in alcuni studi, a stimoli sul tessuto connettivo (collagene/tendine). Qui il TUT può essere una variabile strutturante, ma va gestita per evitare eccesso di affaticamento e decadimento tecnico.

Obiettivo primario	Intensità (riferimento)	Reps (target)	Tempo (E/I/C)	TUT/rep (s)	TUT/set (s) target	Set per esercizio	Recupero (s)	Note operative
FORZA MASSIMA (OUTPUT NEURALE)	ALTA (≈80-95% 1RM O RIR 1-3)	1-5	2/0/INTENTO VELOCE (C)	≈2-3	≈5-20	3-6	120-300	USA IL TUT COME CONTROLLO QUALITÀ ECCENTRICA; EVITARE TUT ELEVATO CHE AUMENTA FATICA PERIFERICA E RIDUCE OUTPUT
IPERTROFIA TENSIONE-DOMINANTE	MODERATA-ALTA (≈70-85% 1RM O RIR 0-2)	5-10	3/0-1/1-2	≈4-6	≈20-45	3-6	90-180	ENFASI SU TENSIONE MECCANICA E ROM; RALLENTARE TROPPO PUÒ RIDURRE CARICO/VOLUME EFFETTIVO
IPERTROFIA METABOLICA (STRESS METABOLICO ALTO)	MODERATA (≈55-75% 1RM O RIR 0-1)	10-20	2-3/1/2 (O 3/1/1)	≈5-6	≈40-90	2-5	45-90	TUT PIÙ LUNGO PER AUMENTARE ACCUMULO METABOLICO; ATTENZIONE AL DECADIMENTO TECNICO E ALL'ECESSO DI FATICA
RESISTENZA MUSCOLARE LOCALE	BASSA-MODERATA (≈40-65% 1RM)	15-30	2/0-1/2	≈4-5	≈60-120	2-4	30-75	OBIETTIVO: TOLLERANZA ALLA FATICA LOCALE; MONITORARE ROM, COMPENSI E DENSITÀ
TENDINE/ECM - CONTROLLO ECCENTRICO (SUPPORTO STRUTTURALE)	MODERATA (CARICO GESTIBILE, RIR 1-3)	6-12	4-6/0-1/1-2	≈5-9	≈30-80	2-5	60-150	DISTRIBUIRE TUT SULL'ECCENTRICA; ISOMETRIE BREVI IN POSIZIONI CHIAVE; PROGRESSIONE PRUDENTE IN SOGGETTI SENSIBILI

TABELLA RIASSUNTIVA: APPLICAZIONE PER OBIETTIVO



Leva di manipolazione	Cosa cambia	Quando usarla	Rischio principale	Controllo consigliato
ALLUNGARE LA RIPETIZIONE (TEMPO)	AUMENTA TUT/REP (SPESSO AUMENTA ANCHE LA FATICA)	IPERTROFIA METABOLICA; CONTROLLO TECNICO; ECCENTRICA EDUCATIVA	RIDUZIONE DEL CARICO E/O DEL NUMERO DI SERIE EFFICACI	METRONOMO E STANDARD E/I/C; INTERROMPERE SE ROM/TECNICA DEGRADANO
AUMENTARE LE REPS A TEMPO SIMILE	AUMENTA TUT/SET E VOLUME	IPERTROFIA/METABOLICO; RESISTENZA LOCALE	CAMBIA L'INTENSITÀ RELATIVA (RIR) E LA QUALITÀ DELLA SERIE	PRESCRIVERE RIR 0 %1RM + TUT/SET TARGET; MONITORARE RPE
REDISTRIBUIRE IL TUT (ECCENTRICA + ISOMETRIE BREVI)	AUMENTA LA QUALITÀ DELLA TENSIONE PIÙ CHE LA SOLA DURATA	QUANDO SI VUOLE STIMOLO SENZA PERDERE TROPPO CARICO	ISOMETRIE LUNGHE: CROLLO PERFORMANCE E TECNICA	ISOMETRIE BREVI (0.5-1 S) IN POSIZIONI CHIAVE; ECCENTRICA 3-6 S
CLUSTER SET / MICRO-PAUSE	AUMENTA TUT TOTALE MANTENENDO OUTPUT	FORZA + IPERTROFIA TENSIONE-DOMINANTE	DENSITÀ/COMPLESSITÀ GESTIONALE; RISCHIO RECUPERO ECCESSIVO	MICRO-PAUSE COSTANTI; EVITARE CHE DIVENTINO RECUPERO PIENO
RIDURRE I RECUPERI	AUMENTA DENSITÀ E STRESS METABOLICO	METABOLICO; RESISTENZA LOCALE; FINISHER	DEGRADO TECNICO E AUMENTO FATICA PERIFERICA	TIMER; CRITERI DI STOP PER FORMA E ROM

TABELLA 2. MANIPOLAZIONE DEL TUT

TUT/set (s)	Uso prevalente	Note
5-20	FORZA/QUALITÀ NEURALE	SERIE BREVI, ALTA INTENSITÀ; TUT USATO SOPRATTUTTO PER CONTROLLARE L'ECCENTRICA
20-45	IPERTROFIA TENSIONE-DOMINANTE	EQUILIBRIO CARICO-TEMPO; PRESERVARE VOLUME EFFICACE
40-90	IPERTROFIA METABOLICA	STRESS METABOLICO ALTO; ATTENZIONE AL DECADIMENTO TECNICO E ALLA FATICA PERIFERICA
60-120	RESISTENZA LOCALE	ALTA TOLLERANZA ALLA FATICA; RISCHIO ELEVATO DI COMPENSI SE NON CONTROLLATO

TABELLA 3: LINEE GUIDA GENERALI/OPERATIVE

LEGENDA/NOTE

- TEMPO E/I/C: E = ECCENTRICA, I = ISOMETRIA/PAUSA, C = CONCENTRICA (SECONDI).
- $TUT/REP = E + I + C$ .  $TUT/SET = (TUT/REP \times RIPETIZIONI) \pm PAUSE \text{ INTRA-SERIE (SE PREVISTE)}$ .
- PRINCIPIO GUIDA: AUMENTARE IL TUT È UTILE FINCHÉ NON COMPROMETTE GRAVEMENTE CARICO, TECNICA E NUMERO DI SERIE EFFICACI.

## CONCLUSIONI

Il TUT è una variabile ponte tra biomeccanica e fisiologia dell'allenamento: non è un semplice "tempo lento", ma un modo per descrivere (e potenzialmente dosare) la **durata dell'esposizione a tensione** e la **distribuzione temporale** delle fasi contrattile.

Le evidenze suggeriscono che manipolare il TUT può influenzare fatica neuromuscolare (con forte

componente periferica), costo energetico/EPOC in condizioni controllate, e persino la risposta di sintesi proteica in specifiche sub-frazioni muscolari. Tuttavia, l'eterogeneità dei risultati impone prudenza: molti studi sono confondibili per differenze concomitanti di carico, volume e controllo della cadenza. Per questo, il modo più scientifico di usare il TUT in programmazione

non è inseguire un numero, ma:

- definire un **TUT target coerente con l'obiettivo**;
- imporre **vincoli** su intensità, tecnica e volume effettivo;
- usare strumenti di **controllo/misura** quando possibile;
- periodizzare il TUT come si periodizza qualsiasi stressor, evitando di renderlo dominante a scapito degli altri determinanti dell'allenamento.

## ABSTRACT

Time Under Tension (TUT) is commonly used to describe the cumulative duration during which skeletal muscle is exposed to mechanical loading within a set, session, or training cycle. Although often reduced to “slow repetitions,” TUT is better conceptualized as a programmable temporal descriptor that interacts with intensity, volume load, contraction mode distribution (eccentric–isometric–concentric), and inter-set recovery to shape neuromuscular and metabolic stress. This article provides (i) an operational definition and measurement framework for TUT, emphasizing compliance and the distinction between prescribed and executed cadence; (ii) a mechanistic integration of how prolonged tension may influence peripheral fatigue, excitation–contraction coupling, metabolic perturbation, and downstream anabolic signaling; and (iii) a critical synthesis of experimental evidence highlighting that TUT effects are frequently confounded by concurrent changes in load, repetitions, and total work. Building on the resistance-training determinants proposed in the literature, we propose a practical programming matrix that sets TUT targets per set and constrains key co-variables (relative intensity, technical execution, and effective volume) to preserve stimulus quality. We conclude that TUT should be treated as a lever—primarily to modulate stress distribution and contraction-phase emphasis—rather than a standalone prescription, with its utility maximized when it increases exposure to meaningful tension without substantially compromising training volume, technique, or performance.

## BIBLIOGRAFIA

1. American College of Sports Medicine. (2009). *Progression models in resistance training for healthy adults (ACSM Position Stand)*. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 41(3), 687–708. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181915670>
2. Brown, N., Bichler, S., & Alt, W. (2015). *Detecting repetitions and time features in resistance training using triaxial accelerometry*. *Sport Technology*.
3. Buitrago, S., Wirtz, N., Yue, Z., Kleinoder, H., & Mester, J. (2012). *Effects of load and training modes on physiological and metabolic responses in resistance exercise*. *European Journal of Applied Physiology*, 112(7), 2739–2748. <https://doi.org/10.1007/s00421-011-2249-9>
4. Burd, N. A., Andrews, R. J., West, D. W. D., Little, J. P., Cochran, A. J. R., Hector, A. J., Cashaback, J. G. A., Gibala, M. J., Potvin, J. R., Baker, S. K., & Phillips, S. M. (2012). *Muscle time under tension during resistance exercise stimulates differential muscle protein sub-fractional synthetic responses in men*. *Journal of Physiology*, 590(2), 351–362.
5. Carpinelli, R. N., & Otto, R. M. (1998). *Strength training: Single set versus multiple sets*. *Sports Medicine*, 26, 73–84.
6. Carpinelli, R. N., Otto, R. M., & Winett, R. A. (2004). *A critical analysis of the ACSM position stand on resistance training: Insufficient evidence to support recommended training protocols*. *Journal of Exercise Physiology Online*, 7(3), 5–9.
7. Crewther, B., Cronin, J., & Keogh, J. (2005). *Possible stimuli for strength and power adaptation: Acute mechanical responses*. *Sports Medicine*, 35, 967–989.
8. Crewther, B., Keogh, J., Cronin, J., & Cook, C. (2006). *Possible stimuli for strength and power adaptation: Acute hormonal responses*. *Sports Medicine*, 36, 215–238.
9. Schoenfeld, B. J. (2010). *The mechanisms of muscle hypertrophy and their application to resistance training*. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(10), 2857–2872.
10. Tanimoto, M., Sanada, K., Yamamoto, K., Kawano, H., Gando, Y., Tabata, I., Ishii, N., & Miyachi, M. (2008). *The effects of whole-body low-intensity resistance training with slow movement and tonic force generation on muscular size and strength in young men*. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 22(6), 1926–1938. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318185f2b0>
11. Toigo, M., & Boutellier, U. (2006). *New fundamental resistance exercise determinants of molecular and cellular muscle adaptations*. *European Journal of Applied Physiology*, 97(6), 643–663. <https://doi.org/10.1007/s00421-006-0238-1>
12. Tran, Q. T., & Docherty, D. (2006). *Dynamic training volume: A construct of both time under tension and volume load*. *Journal of Sports Science & Medicine*, 5(4), 707–713.
13. Tran, Q. T., Docherty, D., & Behm, D. (2006). *The effects of varying time under tension and volume load on acute neuromuscular responses*. *European Journal of Applied Physiology*, 98, 402–410. <https://doi.org/10.1007/s00421-006-0297-3>
14. Wescott, W. L., Winett, R. A., Anderson, E. S., Wojcik, J. R., Loud, R. L., Clegget, E., & Glover, S. (2001). *Effects of regular and slow speed resistance training on muscle strength*. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 41(2), 154–158.

