



1506
UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI URBINO
CARLO BO

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI URBINO CARLO BO

DIPARTIMENTO DI SCIENZE BIOMOLECOLARI

Corso di Laurea magistrale in

SCIENZE MOTORIE PER LA PREVENZIONE E LA
SALUTE

Allenamento della forza lungo l'arco della vita: effetti
acuti di un protocollo a 12RM sulla funzione
neuromuscolare e sulla percezione muscolare in
giovani adulti

Relatrice: Chiar.ma Prof.ssa

LUCIANA VALLORANI

Tesi di Laurea di:

ROBERTO BELLOTTI

Co-relatore: Chiar.mo Prof.

MARCO GERVASI

Anno Accademico 2024-2025

A mia MADRE vigilatrice attenta ed assidua dei miei studi.

*A mia SORELLA KATIA che dal cielo mi osserva e mi affianca in ogni mio percorso,
sperando di renderla sempre fiera e orgogliosa di me.*

Indice	3
Capitolo 1 – Aspetti fisiologici e adattativi della forza	4
1.1 Definizione di forza muscolare e sue manifestazioni	4
1.2 Componenti neurali e strutturali dell'adattamento	4
1.3 Relazione tra intensità, volume e fatica	5
1.4 Effetti acuti e cronici del resistance training	5
1.5 Il metodo delle ripetizioni massimali (RM): principi, vantaggi e limiti	6
Capitolo 2 – L'allenamento della forza nelle diverse età biologiche	7
2.1 Età evolutiva: coordinazione, sviluppo e sicurezza	7
2.2 Età adulta: forza e composizione corporea	11
2.3 Età senile: prevenzione della sarcopenia e mantenimento funzionale	14
2.4 Continuità e trasferibilità del lavoro di forza lungo l'arco della vita	18
Capitolo 3 – Effetti acuti e subacuti dell'allenamento di forza	19
3.1 Definizione e classificazione della fatica neuromuscolare	19
3.2 Meccanismi centrali e periferici della fatica	19
3.3 Danno muscolare, DOMS e adattamento	20
3.4 Recupero, supercompensazione e markers di performance	20
3.5 Evidenze scientifiche sugli effetti acuti dei protocolli RM	21
3.6 Analisi biomeccanica delle fasi del salto: interpretazione dei phase-specific predictors	21
Capitolo 4 – Studio sperimentale	23
4.1 Obiettivi e ipotesi di lavoro	23
4.2 Campione e criteri di inclusione	24
4.3 Disegno sperimentale	24
4.3.1 Strumenti utilizzati	24
4.3.2 Test di salto verticale	25
4.3.3 Stima dell'1RM	25
4.3.4 Protocollo di allenamento: 3 × 12 RM deadlift	25
4.3.5 Scala NPRS per la misurazione dei DOMS	26
4.4 Analisi dei dati	26
4.5 Risultati	27
4.6 Discussione	31
Conclusioni	35
Capitolo 5 – Capitolo aggiuntivo, post discussione tesi per il conseguimento della laurea	36
Bibliografia	39

Capitolo 1 – Aspetti fisiologici e adattativi della forza

1.1 Definizione di forza muscolare e sue manifestazioni

La forza muscolare rappresenta una delle qualità fondamentali dell'essere umano e costituisce il presupposto per l'esecuzione di qualsiasi gesto motorio, dalla semplice attività quotidiana alla prestazione sportiva di alto livello. Nelle scienze motorie, essa viene definita come la capacità del sistema neuromuscolare di generare tensione contro una resistenza esterna, indipendentemente dal fatto che si produca o meno un movimento articolare (Zatsiorsky VM et al., 2024). Tale definizione, apparentemente semplice, racchiude una complessa interazione tra fattori nervosi, muscolari e meccanici che concorrono all'espressione della forza.

Tradizionalmente si riconoscono diverse modalità di manifestazione di questa capacità, distinte in base alla velocità e alla durata dello sforzo. La forza massimale rappresenta la più alta tensione che un muscolo o un gruppo muscolare può sviluppare volontariamente; la forza esplosiva, o rate of force development (RFD), si riferisce invece alla rapidità con cui tale tensione viene prodotta; la forza resistente, infine, indica la capacità di mantenere o ripetere una contrazione per un tempo prolungato. Queste tre dimensioni non costituiscono categorie isolate, ma segmenti di un continuum funzionale in cui la componente neurale e quella muscolare interagiscono costantemente. In ambito applicativo, la forza deve essere considerata non solo come una qualità atletica ma anche come un vero e proprio indicatore di salute: un adeguato livello di forza è infatti correlato a un minore rischio di infortunio, a una migliore efficienza metabolica e a una maggiore autonomia funzionale nelle diverse età della vita (American College of Sport Medicine, 2025).

1.2 Componenti neurali e strutturali dell'adattamento

L'allenamento della forza determina adattamenti complessi che coinvolgono sia il sistema nervoso che la struttura del muscolo. Nelle prime fasi di un programma di resistance training, l'aumento della prestazione è attribuibile principalmente a fattori neurali. Gli studi pionieristici (Moritani & deVries, 1979) hanno dimostrato come, nelle prime settimane di esercizio, il miglioramento della forza non sia ancora accompagnato da modificazioni significative della massa muscolare, ma derivi piuttosto da una maggiore efficienza del controllo nervoso. Tale adattamento si traduce in un incremento della capacità di reclutamento delle unità motorie, in un miglioramento della sincronizzazione delle fibre e in una riduzione della co-attivazione dei muscoli antagonisti. In altre parole, il sistema nervoso diventa più abile nel generare e coordinare la tensione necessaria al movimento.

Con il progredire dell'allenamento, si instaurano adattamenti di natura strutturale. La sezione trasversa del muscolo (CSA) aumenta per effetto dell'ipertrofia delle fibre, la densità miofibrillare cresce e il contenuto sarcoplasmatico tende ad amplificarsi (Schoenfeld, 2010). Da un punto di vista biochimico, tali modificazioni sono regolate

principalmente dall'attivazione della via di segnalazione mTOR, che stimola la sintesi proteica e la crescita miofibrillare. Gli stimoli responsabili di questa attivazione sono riconducibili a tre fattori: la tensione meccanica, lo stress metabolico e il danno muscolare. Il primo dipende dall'intensità del carico applicato, il secondo dal grado di accumulo di metaboliti e dalla congestione ematica, il terzo dai microtraumi strutturali che si verificano soprattutto durante le contrazioni eccentriche. A questi adattamenti muscolari si affiancano modificazioni delle strutture connettivali e tendinee: l'aumento della rigidità del tendine e l'ispessimento delle fasce migliorano la trasmissione della forza e l'efficienza neuromeccanica complessiva (Kubo et al., 2017).

1.3 Relazione tra intensità, volume e fatica

Il miglioramento della forza è il risultato di un delicato equilibrio tra intensità, volume e recupero. L'intensità dell'esercizio viene generalmente espressa come percentuale della one repetition maximum (1RM), mentre il volume corrisponde al prodotto tra serie, ripetizioni e carico sollevato. La modulazione di queste variabili consente di orientare l'allenamento verso obiettivi differenti: carichi elevati e basso volume favoriscono l'adattamento neurale, mentre carichi moderati e alto volume privilegiano l'ipertrofia muscolare (Schoenfeld et al., 2019).

La fatica rappresenta una componente inevitabile e, in certa misura, necessaria dell'allenamento di forza. La fatica è anche definita come la riduzione temporanea della capacità di generare forza, conseguente a un'attività precedente (Enoka & Duchateau, 2016). Essa può avere origine centrale, quando coinvolge il sistema nervoso e riduce il drive motorio, oppure periferica, quando è determinata da alterazioni metaboliche e biochimiche all'interno della fibra muscolare. Nonostante la fatica venga spesso considerata un fattore limitante, essa costituisce in realtà un potente segnale biologico che stimola l'adattamento. Tuttavia, affinché ciò avvenga in modo positivo, è necessario che lo stimolo sia seguito da un adeguato periodo di recupero.

In questo senso, la programmazione dell'allenamento deve rispettare il principio della supercompensazione: solo dopo il ripristino dell'omeostasi, l'organismo è in grado di esprimere livelli superiori di prestazione. Un eccessivo volume o un'inadeguata gestione dei tempi di recupero, al contrario, possono indurre fenomeni di sovraccarico e compromettere la risposta adattativa.

1.4 Effetti acuti e cronici del resistance training

Gli effetti dell'allenamento di forza possono essere distinti in acuti e cronici. Gli effetti acuti sono le risposte immediate che si verificano durante e subito dopo l'esercizio. Tra queste rientrano l'aumento della temperatura intramuscolare, il maggior flusso ematico locale e la produzione di metaboliti come lattato, ioni idrogeno e fosfato inorganico. Questi cambiamenti contribuiscono a determinare una transitoria riduzione della capacità contrattile, ossia la cosiddetta fatica neuromuscolare acuta. Parallelamente si osservano

alterazioni endocrine di breve durata, con incremento dei livelli di testosterone, ormone della crescita e IGF-1, che favoriscono la sintesi proteica nel periodo post-esercizio (Crewther et al., 2011).

Gli effetti cronici derivano invece da una pratica regolare protratta nel tempo e si traducono in adattamenti più stabili. L'allenamento di forza induce un aumento della massa magra e della sezione trasversa del muscolo, un miglioramento della capacità contrattile e della densità minerale ossea, nonché benefici a livello metabolico e cardiovascolare. Questi adattamenti rendono il resistance training una vera e propria forma di medicina preventiva, efficace nel migliorare la composizione corporea, nel ridurre i fattori di rischio cardiometabolico e nel mantenere la funzionalità muscolare durante l'invecchiamento.

In prospettiva fisiologica, gli effetti acuti e cronici sono strettamente connessi: le risposte acute, se opportunamente dosate e ripetute, costituiscono il presupposto per l'instaurarsi degli adattamenti cronici. L'obiettivo di una corretta programmazione è quindi quello di sommare nel tempo gli stimoli acuti senza generare accumulo di fatica non recuperata.

1.5 Il metodo delle ripetizioni massimali (RM): principi, vantaggi e limiti

Il metodo delle ripetizioni massimali, comunemente indicato con l'acronimo RM, è uno dei sistemi più utilizzati per prescrivere e controllare l'intensità del carico nell'allenamento di forza. Esso si basa sull'individuazione del carico massimo che un soggetto è in grado di sollevare per un determinato numero di ripetizioni consecutive. Per esempio, un carico corrispondente a 12RM rappresenta un'intensità tale da consentire l'esecuzione di dodici ripetizioni prima del cedimento tecnico, e generalmente corrisponde a circa il 65–70% del massimale assoluto (Pareja-Blanco et al., 2017).

Questo approccio si è dimostrato particolarmente utile in ambiti non agonistici e salutistici, poiché consente di calibrare il carico in maniera individualizzata senza ricorrere a test massimali potenzialmente rischiosi. Il metodo RM, infatti, permette di equilibrare stimolo meccanico e stress metabolico, garantendo una stimolazione efficace sia sul piano ipertrofico sia su quello della resistenza muscolare. Tuttavia, l'allenamento condotto fino al cedimento può generare un marcato accumulo di fatica e un aumento della percezione di dolore muscolare a insorgenza ritardata (DOMS), soprattutto nei soggetti poco allenati. Un ulteriore limite risiede nella difficoltà di standardizzare la percezione dello sforzo: due individui che eseguono lo stesso numero di ripetizioni a 12RM possono sperimentare livelli differenti di affaticamento, in base alla loro efficienza neuromuscolare e alla tolleranza allo sforzo. Nonostante questi limiti, il metodo RM rappresenta uno strumento efficace per l'individualizzazione del carico e la valutazione della risposta acuta all'allenamento. Nel contesto del presente studio, il protocollo di tre serie da dodici ripetizioni massimali nel deadlift è stato scelto proprio per la sua capacità di indurre una stimolazione completa, in grado di generare effetti misurabili sia sul piano neuromuscolare sia su quello percettivo, in un'ottica di promozione della forza come strumento di salute e benessere.

Capitolo 2 – L'allenamento della forza nelle diverse età biologiche

2.1 Età evolutiva: coordinazione, sviluppo e sicurezza

L'allenamento della forza in età evolutiva ha rappresentato per lungo tempo un tema controverso, spesso accompagnato da pregiudizi e timori infondati circa i possibili effetti negativi sulla crescita scheletrica o sullo sviluppo ormonale. Le evidenze scientifiche più recenti hanno tuttavia dimostrato che, se correttamente impostato e supervisionato, l'allenamento della forza è non solo sicuro, ma anche fortemente raccomandato per bambini e adolescenti (Faigenbaum & Myer, 2010).

Durante la fase prepuberale, gli incrementi di forza derivano principalmente da adattamenti neurali, poiché la capacità ipertrofica del muscolo è ancora limitata dalla scarsa concentrazione di ormoni anabolici. In questo periodo, l'allenamento dovrebbe avere come obiettivo lo sviluppo delle abilità coordinative e del controllo motorio piuttosto che l'aumento del carico assoluto. Gli esercizi a corpo libero, con piccoli sovraccarichi o con resistenze elastiche, favoriscono l'apprendimento dei pattern motori di base e migliorano la stabilità posturale e articolare. Con la progressiva maturazione puberale, l'incremento dei livelli di testosterone e IGF-1 consente un maggiore sviluppo muscolare e rende possibile l'introduzione di protocolli più strutturati di resistance training. È tuttavia fondamentale che l'esecuzione sia sempre controllata, con una progressione graduale dei carichi e un'attenzione prioritaria alla tecnica di movimento. I programmi di forza condotti con supervisione qualificata non solo non interferiscono con la crescita, ma contribuiscono al miglioramento della composizione corporea e della funzione neuromuscolare.

In questa prospettiva, l'allenamento della forza assume un valore educativo, favorendo lo sviluppo della percezione corporea, dell'autoefficacia motoria e della fiducia nelle proprie capacità fisiche. In età evolutiva, pertanto, il resistance training non deve essere inteso come un mezzo per incrementare la performance, ma come una componente essenziale dell'educazione motoria finalizzata alla salute e alla prevenzione degli infortuni.

RACCOMANDAZIONI DEL MODELLO FITT PER BAMBINI E ADOLESCENTI (119)			
PRINCIPI FITT	ESERCIZI AEROBICI	ESERCIZI CONTRO RESISTENZA	ESERCIZI DI FLESSIBILITA'
FREQUENZA	GIORNALMENTE	ALMENO 3 GG × SETT	ALMENO 3 GG × SETT
INTENSITA'	PRINCIPALMENTE DA MODERATA (EVIDENTE AUMENTO DELLA FC E DELLA FREQUENZA RESPIRATORIA) A VIGOROSA	ESERCIZI A CARICO NATURALE; OPPURE, 8-15 RIPETIZIONI SOTTOMASSIMALI PER GIUNGERE AD UN	NON DEFINITA

	(AUMENTO SOSTANZIALE DELLA FC E DELLA FREQUENZA RESPIRATORIA). INCLUDERE INTENSITA' VIGOROSA ALMENO 3 GG × SETT	AFFATICAMENTO MODERATO MANTENENDO SEMPRE LA CORRETTA TECNICA DI ESECUZIONE	
DURATA	RICOMPRESA NEI 60 MINUTI MINIMI DI ESERCIZIO GIORNALIERO	RICOMPRESA NEI 60 MINUTI MINIMI DI ESERCIZIO GIORNALIERO	RICOMPRESA NEI 60 MINUTI MINIMI DI ESERCIZIO GIORNALIERO
TIPO	ATTIVITA' PIACEVOLI E APPROPRIATE ALLO STATO DI SVILUPPO, TRA CUI CORSA, CAMMINATA VELOCE, NUOTO, DANZA, CICLISMO E ALTRI SPORT COME CALCIO, PALLACANESTRO O TENNIS	LE ATTIVITA' FISICHE DI RAFFORZAMENTO MUSCOLARE POSSONO ESSERE NON STRUTTURATE (AD ESEMPIO GIOCARE SU ATTREZZATURE NEI PARCHI GIOCHI, ARRAMPICARSI SUGLI ALBERI, FARE IL TIRO ALLA FUNE) O STRUTTURATE (AD ESEMPIO, ESERCIZIO CON SOVRACCARICHI ESTERNI: PESI E BANDE ELASTICHE)	LE ATTIVITA' DI RINFORZO OSSEO POSSONO COMPRENDERE LA CORSA, IL SALTO ALLA CORDA, LA PALLACANESTRO, IL TENNIS, GLI ESERCIZI CONTRO RESISTENZA, IL GIOCO DELLA CAMPANA

FC: FREQUENZA CARDIACA

Tabella 1. Schema delle linee guida della ACSM sui principi FITT per la prescrizione dell'esercizio fisico per bambini ed adolescenti della seconda edizione in italiano (American College of Sport Medicine, 2021)

RACCOMANDAZIONI FITT PER BAMBINI E ADOLESCENTI (1)			
PRINCIPI FITT	ESERCIZIO AEROBICO	ESERCIZI CONTRO RESISTENZA	ESERCIZI DI RAFFORZAMENTO OSSEO
FREQUENZA	QUOTIDIANA; INTENSITA'	ALMENO TRE VOLTE A	ALMENO TRE VOLTE A

	VIGOROSA ALMENO TRE VOLTE A SETTIMANA	SETTIMANA	SETTIMANA
INTENSITA'	DA MODERATA (AUMENTO CONSISTENTE DELLA FC E DELLA FREQUENZA RESPIRATORIA) A VIGOROSA (AUMENTO SOSTANZIALE DELLA FC E DELLA FREQUENZA RESPIRATORIA).	ESERCIZI A CARICO NATURALE; OPPURE, 8-15 RIPETIZIONI SUBMASSIMALI FINO AD AFFATICAMENTO MODERATO, MANTENENDO SEMPRE UNA BUONA ESECUZIONE.	VARIABILE, PRIVILEGIANDO LE ATTIVITA' CHE INDUCONO UN CARICO OSSEO DA MODERATO A ELEVATO ATTRAVERSO GLI IMPATTI O L'ESPRESSIONE DI FORZA MUSCOLARE.
TEMPO	ALL'INTERNO DI UNA SESSIONE DI ESERCIZIO DI ALMENO 60 MINUTI AL GIORNO	ALL'INTERNO DI UNA SESSIONE DI ESERCIZIO DI ALMENO 60 MINUTI AL GIORNO	ALL'INTERNO DI UNA SESSIONE DI ESERCIZIO DI ALMENO 60 MINUTI AL GIORNO
TIPO	ATTIVITA' PIACEVOLI E ADEGUATE AL LIVELLO DI SVILUPPO RAGGIUNTO, TRA CUI GIOCHI DI CORSA, PASSEGGIATE, CAMMINATE A RITMO SOSTENUTO, SALTI, SALTELLI, SALTO DELLA CORDA, NUOTO, DANZA, BICICLETTA E SPORT COME CALCIO, PALLACANESTRO O TENNIS.	LE ATTIVITA' FISICHE DI RAFFORZAMENTO MUSCOLARE POSSONO ESSERE NON STRUTTURATE (PER ES. GIOCHI SU APPOSITE ATTREZZATURE NEI PARCHI GIOCHI, ARRAMPICARSI SUGLI ALBERI, FARE IL TIRO ALLA FUNE) O STRUTTURATE E APPROPRIAMENTE SUPERVISIONATE (PER ES. ESERCIZI A CARICO NATURALE COME PIEGAMENTI SULLE BRACCIA E SIT-UP, SOLLEVAMENTO PESI, LAVORO	ESEMPI DI ATTIVITA' CHE RAFFORZANO LE OSSA SONO LA CORSA, IL SALTO ALLA CORDA, LA PALLACANESTRO, IL TENNIS, L'ALLENAMENTO CONTRO RESISTENZA E IL GIOCO DELLA CAMPANA.

		CON ELASTICI).	
FC = FREQUENZA CARDIACA			

Tabella 2. Schema delle linee guida della ACSM sui principi FITT per la prescrizione dell'esercizio fisico per bambini e adolescenti della terza edizione in italiano (American College of Sport Medicine, 2025)

Gli ultimi due schemi fanno parte rispettivamente delle linee guida della ACSM per la valutazione funzionale e la prescrizione dell'esercizio fisico della seconda e terza edizione italiana, in questo caso più specificatamente sono le "linee guida-raccomandazioni FITT per la prescrizione dell'esercizio fisico per bambini e adolescenti". Da notare che in tutte e due gli schemi per gli esercizi contro resistenza non c'è differenza, cioè almeno 3 volte a settimana di esercizi a carico naturale, oppure esercizi di 8-15 ripetizioni di intensità sub massimale fino a giungere ad un affaticamento moderato mantenendo sempre la corretta esecuzione. Inoltre le attività fisiche di rinforzo muscolare possono essere strutturate (come appunto esercizi a carico naturale, pesi, lavoro con elastici) e non strutturate (per esempio giochi su apposite attrezzature nei parchi e arrampicata sugli alberi) il tutto sempre supervisionato. Vediamo che nei due schemi (a parte la prescrizione degli esercizi aerobici che ci sono in tutte e due) nel primo ci sono gli esercizi di flessibilità, con all'interno le attività di rinforzo osseo nella tipologia di esercizio, mentre nel secondo che è lo schema preso dagli ultimi aggiornamenti dell'ACSM, non ci sono gli esercizi di flessibilità ma c'è la sezione riguardante gli "esercizi di rafforzamento osseo", che sono una variabile degli esercizi contro resistenza.

Età (anni)	Considerazioni
7 o meno	Avviamento con esercizi di base con poco o nessun peso; sviluppare il concetto di una sessione di allenamento; insegnare le tecniche di esecuzione degli esercizi; usare una progressione che va da esercizi di ginnastica a esercizi a coppia ed esercizi con resistenze leggere; mantenere un volume basso
8-10	Aumentare progressivamente il numero degli esercizi, esercitare le tecniche di esecuzione di tutti gli esercizi di sollevamento di pesi; introdurre gradualmente esercizi con un sovraccarico progressivo; aumentare il volume lentamente; controllare con attenzione la tolleranza allo stress degli esercizi
11-13	Insegnare tutte le tecniche fondamentali di esecuzione; continuare a seguire il principio del sovraccarico progressivo degli esercizi; porre l'accento sulla tecnica di esecuzione; introdurre esercizi più avanzati senza sovraccarico o con sovraccarichi (pesi) leggeri
14-15	Progredire verso programmi più avanzati di lavoro con sovraccarichi; aggiungere componenti legate al movimento sportivo; porre l'accento sulla tecnica di esecuzione; aumentare il volume
16 o più	Passare ai programmi per adulti quando il soggetto avrà raggiunto la necessaria esperienza di base
Se il bambino che rientra in una fascia di età superiore ai sette anni non ha alcuna esperienza precedente, deve iniziare al livello inferiore rispetto alla sua età e progredire verso livelli superiori man mano che aumentano tolleranza, abilità e conoscenze.	

Figura 1. Linee guida per la progressione e la gradualità degli esercizi contro resistenza in base principalmente all'età e all'esperienza dei giovani (Zatsiorsky VM et al., 2024)

2.2 Età adulta: forza e composizione corporea

Nell'età adulta, l'allenamento della forza assume un ruolo strategico per il mantenimento della composizione corporea, della performance e della salute metabolica. A partire dalla terza decade di vita, infatti, si osserva una graduale riduzione della massa muscolare e della forza, fenomeno noto come "sarcopenia fisiologica", che può essere contrastato efficacemente attraverso un programma di esercizio mirato (Mitchell et al., 2012).

Il resistance training in questa fase della vita permette di preservare la massa magra, ridurre la massa grassa e migliorare la sensibilità insulinica, contribuendo alla prevenzione di patologie croniche come la sindrome metabolica, il diabete di tipo 2 e le malattie cardiovascolari. L'attività di forza determina inoltre un aumento della densità minerale ossea, particolarmente rilevante per le donne nella fase post-menopausale (Westcott, 2012).

Dal punto di vista fisiologico, l'adulto risponde positivamente a un'ampia varietà di stimoli di forza, sia ad alta intensità, finalizzati all'aumento della forza massimale, sia a intensità moderate con maggior volume, orientati all'ipertrofia. La scelta del metodo dipende dagli obiettivi individuali: nei soggetti non sportivi, il focus è generalmente rivolto al miglioramento della funzionalità generale e della composizione corporea, mentre negli sportivi prevale l'attenzione alla potenza specifica e al trasferimento tecnico del gesto.

Un elemento di particolare interesse riguarda la relazione tra l'allenamento di forza e la salute mentale. Una recente meta-analisi di Gordon e colleghi (Gordon et al., 2018) ha evidenziato come il resistance training regolare sia associato a una riduzione significativa dei sintomi depressivi e ansiosi, grazie alla combinazione di fattori neuroendocrini, psicologici e sociali che accompagnano la pratica. Ciò rafforza la visione olistica della forza come determinante di benessere psicofisico. In sintesi, nell'adulto l'allenamento di forza rappresenta un potente strumento di prevenzione primaria e secondaria. Esso contribuisce a mantenere l'efficienza motoria, favorisce il controllo del peso corporeo e promuove una migliore qualità della vita, rappresentando una delle strategie più efficaci di medicina dell'esercizio.

RACCOMANDAZIONI SUGLI ESERCIZI CONTRO RESISTENZA BASATE SULLE EVIDENZE SCIENTIFICHE	
FITT-VP EVIDENZE	RACCOMANDAZIONI BASATE SULLE
FREQUENZA	– OGNI PRINCIPALE GRUPPO MUSCOLARE DOVREBBE ESSERE ALLENATO PER 2-3 GIORNI × SETTIMANA.
INTENSITA'	– DA 60 A 70% DEL PROPRIO 1RM (INTENSITA' MODERATA-VIGOROSA) PER SOGGETTI PRINCIPIANTI E INTERMEDI PER AUMENTARE LA FORZA. – ESPERTI DI ALLENAMENTO DELLA FORZA POSSONO AUMENTARE GRADUALMENTE FINO A ED OLTRE L'80% DI 1RM (INTENSITA' DA VIGOROSA A MOLTO VIGOROSA) PER MIGLIORARE LA FORZA. – DA 40 A 50% DI 1RM (INTENSITA' DA MOLTO LEGGERA A LEGGERA) PER LE PERSONE ANZIANE CHE INIZINO UN PROGRAMMA DI ALLENAMENTO PER MIGLIORARE LA FORZA. – IL 40-50% DI 1RM (INTENSITA' DA MOLTO LEGGERA A LEGGERA) PUO' ESSERE UTILE PER MIGLIORARE LA FORZA NELLE PERSONE SEDENTARIE CHE INIZINO UN PROGRAMMA DI ALLENAMENTO CONTRO RESISTENZA. – <50% DI 1RM (INTENSITA' DA LEGGERA A MODERATA) PER MIGLIORARE LA RESISTENZA MUSCOLARE. – DA 20% A 50% DI 1RM NEGLI ANZIANI PER MIGLIORARE LA POTENZA.

DURATA	– NESSUNA SPECIFICA DURATA E' STATA IDENTIFICATA COME MAGGIORMENTE EFFICACE.
TIPO	– SI RACCOMANDANO ESERCIZI CONTRO RESISTENZA CHE COINVOLGANO TUTTI I PRINCIPALI GRUPPI MUSCOLARI. – GLI ESERCIZI CHE COINVOLGONO PIU' ARTICOLAZIONI E CHE INTERESSANO PIU' DI UN GRUPPO MUSCOLARE AGONISTA E ANTAGONISTA SONO RACCOMANDATI PER TUTTI GLI ADULTI. – ANCHE ESERCIZI CHE COINVOLGONO UNA SINGOLA ARTICOLAZIONE, ATTIVANDO I PRINCIPALI GRUPPI MUSCOLARI, POSSONO ESSERE INCLUSI IN UN PROGRAMMA DI ALLENAMENTO CONTRO RESISTENZA, IN GENERE DOPO L'ESECUZIONE DI UNO O PIU' ESERCIZI FISICI MULTI-ARTICOLARI PER IL MEDESIMO GRUPPO MUSCOLARE. – PER ESEGUIRE QUESTI ESERCIZI E' POSSIBILE UTILIZZARE DIVERSE SPECIFICHE ATTREZZATURE E/O IL SOLO PESO CORPOREO.
RIPETIZIONI	– 8-12 RIPETIZIONI SONO RACCOMANDATE PER MIGLIORARE LA FORZA E LA POTENZA NELLA MAGGIOR PARTE DEGLI ADULTI. – 10-15 RIPETIZIONI SONO EFFICACI PER MIGLIORARE LA FORZA NELLE PERSONE DI MEZZA ETA' E ANZIANE CHE INIZINO UN PROGRAMMA DI ESERCIZIO FISICO. – SI RACCOMANDANO 15-25 RIPETIZIONI PER MIGLIORARE LA RESISTENZA MUSCOLARE.
SERIE	– 2-4 SERIE SONO RACCOMANDATE PER LA MAGGIOR PARTE DEGLI ADULTI PER MIGLIORARE LA FORZA E LA POTENZA. – UNA SINGOLA SERIE DI ESERCIZI CONTRO RESISTENZA PUO' ESSERE EFFICACE, SPECIALMENTE PER I SOGGETTI ANZIANI E PRINCIPIANTI. – ≤2 SERIE SONO EFFICACI NEL MIGLIORARE LA RESISTENZA MUSCOLARE.
ORGANIZZAZIONE	– INTERVALLI DI RECUPERO DI 2-3 MINUTI TRA LE SERIE SONO EFFICACI. – SI CONSIGLIA UNA PAUSA DI ≥48 ORE TRA SESSIONI CHE COINVOLGONO IL MEDESIMO SINGOLO GRUPPO MUSCOLARE.
PROGRESSIONE	– SI RACCOMANDA UNA GRADUALE PROGRESSIONE NELL'INCREMENTO DELLA RESISTENZA E/O DEL NUMERO DI RIPETIZIONI PER SERIE E/O DI AUMENTO DELLA FREQUENZA DI ESERCIZIO FISICO.

1RM: CARICO MASSIMO CHE SI PUO' VINCERE CON UNA SINGOLA RIPETIZIONE ADATTATO DA (37)

Tabella 3. Schema delle linee guida della ACSM sui principi FITT riguardo la prescrizione di esercizi contro resistenza della seconda edizione in italiano (American College of Sport Medicine, 2021)

■	RACCOMANDAZIONI SUL VOLUME DI LAVORO (SERIE E RIPETIZIONI) NELL'ESERCIZIO FISICO CONTRO RESISTENZA
FITT	Idealmente, gli adulti dovrebbero allenare ogni gruppo muscolare per un totale di 2-4 serie con 8-12 ripetizioni ciascuna, con un intervallo di riposo di 2-3 minuti tra le serie per migliorare la condizione muscolare. Tuttavia, anche una singola serie per gruppo muscolare migliorerà significativamente la forza muscolare, in particolare nei principianti. Gli adulti più anziani o gli individui decondizionati dovrebbero iniziare un regime di esercizio fisico con almeno una serie di 10-15 ripetizioni ad intensità molto leggera (ad esempio, 40%-50% del proprio 1RM) per migliorare il proprio stato di fitness fisica muscolare.



Figura 2. Raccomandazioni sul volume di lavoro (serie e ripetizioni) nell'esercizio fisico contro resistenza (American College of Sport Medicine, 2021)

Nella figura 2 ci sono le raccomandazioni FITT della seconda edizione in italiano delle linee guida della ACSM per la prescrizione dell'esercizio fisico contro resistenza per gli adulti, gli adulti più anziani e gli individui decondizionati (American College of Sport Medicine, 2021).

2.3 Età senile: prevenzione della sarcopenia e mantenimento funzionale

Nel corso dell'invecchiamento, il declino della forza muscolare rappresenta uno dei fattori più rilevanti nella perdita di autonomia e nell'aumento del rischio di cadute e disabilità. Tale riduzione è legata alla diminuzione della massa muscolare, all'atrofia delle fibre di tipo II e alla ridotta efficienza neuromuscolare. Questo processo, definito sarcopenia, è oggi riconosciuto come una vera e propria condizione patologica, con importanti implicazioni cliniche e sociali (Cruz-Jentoft et al., 2019).

Numerosi studi hanno dimostrato che l'allenamento di forza è l'intervento non farmacologico più efficace per contrastare la sarcopenia. Programmi di resistance training eseguiti due o tre volte alla settimana, anche con carichi moderati, sono in grado di migliorare significativamente la forza, la massa magra e la capacità funzionale degli anziani (Mitchell et al., 2012; Peterson et al., 2010). Questi adattamenti derivano sia da modificazioni strutturali, come l'aumento della sezione trasversa delle fibre, sia da adattamenti neurali, che compensano in parte la perdita delle unità motorie. Dal punto di vista metodologico, gli esercizi multiarticolari che coinvolgono grandi gruppi muscolari risultano particolarmente efficaci, poiché permettono di migliorare simultaneamente la forza e l'equilibrio. L'utilizzo di macchine isotoniche o resistenze elastiche garantisce sicurezza e controllo, riducendo il rischio di infortuni. Inoltre, l'allenamento di forza può essere integrato con esercizi di potenza a bassa intensità, che favoriscono la rapidità di reclutamento neuromuscolare e migliorano la capacità di reazione, componente essenziale nella prevenzione delle cadute. Dal punto di vista ormonale, il resistance training contribuisce a contrastare il declino di testosterone, GH e IGF-1, stimolando la sintesi proteica e migliorando la qualità del tessuto muscolare residuo. È stato anche osservato, in un campione composto da donne anziane, un effetto positivo sul profilo infiammatorio sistemico, con riduzione dei marker di infiammazione cronica di basso grado (Phillips et al., 2010).

In conclusione, l'allenamento della forza nella popolazione anziana non rappresenta solo una strategia di mantenimento, ma un vero e proprio strumento terapeutico. Esso consente di preservare la funzionalità motoria, migliorare la qualità della vita e ridurre l'impatto economico e sociale delle malattie legate all'età.

Le attività mirate all'aumento della potenza muscolare negli anziani sani dovrebbero comprendere esercizi di una o più articolazioni (1-3 serie) con un carico da leggero a moderato (30-60% dell'1-RM) per 6-10 ripetizioni ad alta velocità.

RACCOMANDAZIONI FITT PER GLI ANZIANI (112, 114, 116)			
PRINCIPI FITT	ESERCIZIO AEROBICO	ESERCIZI CONTRO RESISTENZA	ESERCIZI DI FLESSIBILITA'
FREQUENZA	INTENSITA' MODERATA: ALMENO 5 GIORNI A SETTIMANA. INTENSITA' VIGOROSA: ALMENO 3 GIORNI A SETTIMANA. INTENSITA' MODERATA-VIGOROSA (COMBINATE): 3-5 GIORNI A SETTIMANA.	ALMENO 2 GIORNI A SETTIMANA.	ALMENO 2 GIORNI A SETTIMANA.
INTENSITA'	SU UNA SCALA DI	ALLENAMENTO	ALLUNGARSI

	PERCEZIONE DELLO SFORZO DA 0 A 10: 5-6 PER INTENSITA' MODERATA E 7-8 PER INTENSITA' VIGOROSA.	PROGRESSIVO CON I PESI: INTENSITA' LEGGERA (CIOE' 40-50% DI 1-RM) PER I PRINCIPIANTI; PROGREDIRE FINO A INTENSITA' MODERATA-VIGOROSA (60-80% DI 1-RM); IN ALTERNATIVA, DA INTENSITA' MODERATA (5-6) A INTENSITA' VIGOROSA (7-8) SU UNA SCALA 0-10. ALLENAMENTO DELLA POTENZA: CARICHI DA LEGGERI A MODERATI (30-60% DI 1-RM).	FINO AL PUNTO DI SENTIRE UNA TENSIONE O UN LEGGERO DISAGIO.
TEMPO	30-60 MINUTI AL GIORNO DI ESERCIZIO DI INTENSITA' MODERATA; 20-30 MINUTI AL GIORNO DI ESERCIZIO VIGOROSO; O UNA COMBINAZIONE EQUIVALENTE DI ESERCIZIO DI INTENSITA' MODERATA E VIGOROSA; PUO' ESSERE ACCUMULATO IN PERIODI DI ALMENO 10 MINUTI CIASCUNO.	ALLENAMENTO PROGRESSIVO CON I PESI: 8-10 ESERCIZI CHE COINVOLGANO I PRINCIPALI GRUPPI MUSCOLARI; ALMENO UNA SERIE DA 10-15 RIPETIZIONI PER I PRINCIPIANTI; PROGREDIRE FINO A 1-3 SERIE DA 8-12 RIPETIZIONI PER CIASCUN ESERCIZIO. ALLENAMENTO DELLA POTENZA: 6-10 RIPETIZIONI AD ALTA VELOCITA'.	MANTENERE L'ALLUNGAMENTO PER 30-60 SECONDI.
TIPO	QUALSIASI MODALITA' CHE NON IMPONGA UNO	PROGRAMMI DI ALLENAMENTO CON I PESI,	QUALSIASI AF CHE MANTENGA O AUMENTI LA

	STRESS ORTOPEDICO ECCESSIVO, COME LA CAMMINATA. GLI ESERCIZI IN ACQUA O SUL CICLOERGOMETRO POSSONO ESSERE VANTAGGIOSI PER CHI HA UNA CAPACITA' DI LAVORO/ESERCIZIO LIMITATA.	PROGRESSIVI O DI POTENZA, OPPURE ESERCIZI CALISTENICI CON I PESI, SALITA E DISCESA DA UN GRADINO E ALTRE ATTIVITA' DI RAFFORZAMENTO CHE UTILIZZINO I PRINCIPALI GRUPPI MUSCOLARI.	FLESSIBILITA' USANDO MOVIMENTI LENTI CHE TERMINANO CON IL MANTENIMENTO DI UNA DETERMINATA POSIZIONE DI ALLUNGAMENTO MUSCOLARE, PIUTTOSTO CHE MOVIMENTI BALISTICI.
--	--	---	---

1RM: MASSIMA RIPETIZIONE SINGOLA

Tabella 4. Schema delle linee guida della ACSM sui principi FITT per la prescrizione dell'esercizio fisico per gli anziani della terza edizione in italiano (American College of Sport Medicine, 2025)

Più specificatamente sull'ultimo schema andiamo ad analizzare gli “esercizi contro resistenza”.

“Almeno 2 volte a settimana; allenamento progressivo e graduale con i pesi da intensità leggera per i principianti (40-50% di 1-RM) fino a progredire ad intensità moderata-vigorosa (60-80% di 1-RM). Allenamento progressivo con 8-10 esercizi che coinvolgono i principali gruppi muscolari con almeno una serie da 10-15 ripetizioni per i principianti per poi progredire fino a 1-3 serie da 8-12 ripetizioni per ciascun esercizio. Per gli anziani che hanno acquisito un buon livello di familiarizzazione con gli esercizi e un buon livello di allenamento, possono allenare la potenza con carichi da leggeri a moderati (30 al 60% di 1-RM) con 1-3 serie da 6-10 ripetizioni ad alta velocità. La tipologia può essere con i pesi, oppure a corpo libero anche con l'ausilio dei pesi, ovvero un esempio è la salita e discesa di un gradino/step con il posizionamento e tenendo un manubrio per mano e altre attività di rafforzamento per i principali gruppi muscolari”.

Per gli anziani fortemente decondizionati andrebbero adottate intensità basse e di breve durata adeguando e individualizzando la sessione di allenamento; un approccio conservativo può rendersi necessario per gli anziani molto decondizionati o fisicamente limitati. Quando delle condizioni croniche disabilitanti non consentono di praticare e svolgere gli esercizi/AF seguendo le indicazioni di quantità minima raccomandata, gli anziani dovrebbero comunque contrastare la sedentarietà effettuando gli esercizi/AF che possono tollerare. Per gli esercizi contro resistenza gli anziani dovrebbero essere supervisionati e monitorati da personale qualificato, soprattutto gli anziani che hanno delle problematiche fisiche o delle patologie. Vediamo che nelle raccomandazioni FITT per la prescrizione dell'esercizio fisico per gli anziani, l'esercizio contro resistenza è associato all'esercizio aerobico e agli esercizi di flessibilità. Nella sessione strutturata di allenamento

della forza o esercizi contro resistenza oltre che ad un iniziale riscaldamento adeguato, la sessione dovrebbe terminare sempre con gli esercizi di flessibilità.

QUALI SONO LE RACCOMANDAZIONI LEGATE ALLA SICUREZZA PER GLI ANZIANI CHE PRENDONO PARTE ALL'ALLENAMENTO CON SOVRACCARICHI?

- Tutti i partecipanti devono essere visitati, dal momento che molti anziani soffrono di varie patologie. Se necessario, si dovrebbe richiedere un parere medico riguardante il tipo di attività più adatto.
- Riscaldamento da 5 a 10 minuti prima di ogni sessione. Un riscaldamento adeguato include attività aerobiche di intensità bassa o moderata e attività a corpo libero.
- Praticare esercizi di stretching (allungamento) prima o dopo, oppure sia prima che dopo ogni sessione di allenamento con sovraccarichi.
- Utilizzare un carico che non sia troppo impegnativo per il sistema muscoloscheletrico.
- Evitare la manovra di Valsalva.
- Prevedere da 48 a 72 ore di recupero tra le sessioni di allenamento.
- Eseguire tutti gli esercizi in una gamma di movimenti che non risultino dolorosi.
- Ottenere indicazioni sugli esercizi da istruttori qualificati.

Figura 3. Schema riassuntivo delle raccomandazioni legate alla sicurezza degli anziani per l'allenamento della forza o esercizi contro resistenza (Baechle TR e Earle RW, 2010)

2.4 Continuità e trasferibilità del lavoro di forza lungo l'arco della vita

Considerando le diverse età biologiche, emerge con chiarezza come la forza costituisca una capacità trasversale e adattabile, la cui allenabilità accompagna l'individuo lungo tutto il corso della vita. L'approccio contemporaneo alla programmazione dell'esercizio fisico tende a superare la frammentazione per età, valorizzando il principio della continuità del movimento come fattore di salute pubblica (Bull et al., 2020).

Dall'infanzia all'età adulta e fino alla senescenza, la forza si configura come un elemento comune, che assume di volta in volta significati diversi: educativi, prestativi o terapeutici. Nei bambini rappresenta uno strumento di apprendimento e sviluppo coordinativo; nell'adulto un mezzo di prevenzione e ottimizzazione funzionale; nell'anziano un presidio clinico per contrastare la perdita di massa e autonomia. Il concetto di "lifelong strength training" si fonda proprio su questa prospettiva di continuità. L'esposizione regolare a stimoli di forza, anche a bassa intensità, produce adattamenti cumulativi che riducono il declino funzionale e migliorano la capacità di adattamento dell'organismo agli stress meccanici. Tale visione suggerisce la necessità di promuovere politiche educative e sanitarie orientate all'inserimento sistematico dell'allenamento di forza nei programmi scolastici, lavorativi e di invecchiamento attivo. La trasferibilità degli effetti dell'allenamento di forza si manifesta anche nella prevenzione di numerose patologie croniche, come osteoporosi, sarcopenia, diabete e sindrome metabolica, rafforzando l'idea che la forza rappresenti non solo una componente prestativa ma una vera "abilità sanitaria". In questo senso, la programmazione della forza deve essere interpretata come un processo continuo, ciclico e adattivo, che accompagna la persona nel suo percorso di vita, modulandosi in funzione delle esigenze biologiche e psicologiche di ogni fase.

Capitolo 3 – Effetti acuti e subacuti dell'allenamento di forza

3.1 Definizione e classificazione della fatica neuromuscolare

La fatica neuromuscolare è definita come qualsiasi riduzione indotta dall'esercizio della capacità di un muscolo o di un gruppo muscolare di produrre forza o potenza ottimale. In termini pratici, ciò si traduce in una diminuzione della forza massimale o della potenza erogata durante uno sforzo ripetuto. Spesso la fatica neuromuscolare viene suddivisa in due grandi categorie: fatica centrale e fatica periferica. La fatica centrale origina nel sistema nervoso centrale (SNC). In questa forma il comando motorio volontario diminuisce a monte della giunzione neuromuscolare. Fattori cognitivi e motivazionali (concentrazione, motivazione) e variazioni nei neurotrasmettitori cerebrali contribuiscono a ridurre la spinta motoria verso i muscoli. La fatica periferica, invece, ha sede nel muscolo stesso e nei processi a valle della giunzione neuromuscolare. Dipende da alterazioni nell'eccitazione e nella contrattilità muscolare, inclusi deficit di trasmissione dell'impulso, scarso rilascio o ricaptazione del calcio e accumulo di metaboliti (ioni H^+ , fosfati inorganici, lattato) che interferiscono con il ciclo dei ponti trasversali. Queste due forme di fatica non sono mai del tutto separate ma si sovrappongono, contribuendo entrambe al declino della prestazione. Comprendere questa distinzione è fondamentale per ottimizzare l'allenamento: protocolli diversi potranno infatti colpire maggiormente aspetti centrali o periferici e richiedere tempi di recupero specifici.

3.2 Meccanismi centrali e periferici della fatica

I meccanismi centrali coinvolgono processi a livello del cervello e del midollo spinale che riducono l'efficacia del comando volontario. In particolare, si osservano inibizione corticale, riduzione della frequenza di scarica dei motoneuroni e feedback inibitorio da parte delle fibre sensoriali di tipo III e IV. Queste ultime, sensibili ai metaboliti prodotti durante lo sforzo, sopprimono ulteriormente l'attivazione dei motoneuroni spinali. Anche le modifiche nei neurotrasmettitori cerebrali, come un aumento della serotonina o una riduzione della dopamina, influenzano la motivazione, l'umore e la percezione dello sforzo. Questi meccanismi sono particolarmente rilevanti in esercizi prolungati, in condizioni di affaticamento generale o di stress psicologico. I meccanismi periferici, invece, interessano direttamente il muscolo scheletrico e il processo che porta dalla stimolazione nervosa alla contrazione. Tra questi fenomeni si annoverano alterazioni nella propagazione dell'impulso elettrico lungo il sarcolemma e i tubuli T, deficit nell'accoppiamento eccitazione-contrazione con rilascio inadeguato di calcio dal reticolo sarcoplasmatico e accumulo di metaboliti intracellulari come H^+ e P_i . Questi prodotti interferiscono con la sensibilità della troponina al calcio e con il ciclo di interazione actina-miosina, rallentando la produzione di forza. Inoltre, l'esaurimento del glicogeno e la ridotta disponibilità di ATP compromettono ulteriormente la contrattilità. La fatica periferica è predominante negli esercizi brevi e intensi, mentre la componente centrale emerge maggiormente in esercizi prolungati o in presenza di condizioni sistemiche stressanti. Le due componenti, tuttavia, interagiscono costantemente, influenzandosi a vicenda.

3.3 Danno muscolare, DOMS e adattamento

Il danno muscolare indotto dall'esercizio si verifica soprattutto in seguito a esercizi eccentrici, non abituali o eseguiti con elevata intensità. Questo danno è caratterizzato dalla presenza di microlesioni nelle strutture sarcomeriche, in particolare nelle linee Z, e da una disorganizzazione del citoscheletro e della membrana cellulare. Tali eventi innescano una risposta infiammatoria locale che coinvolge l'attivazione di cellule immunitarie e il rilascio di citochine pro-infiammatorie, come TNF- α e interleuchine, che a loro volta sensibilizzano le terminazioni nocicettive. Il risultato clinico più evidente è il dolore muscolare a insorgenza ritardata (DOMS), che compare dopo 8-24 ore dall'esercizio, raggiunge il picco a 48-72 ore e tende a scomparire entro 5-7 giorni. I sintomi associati comprendono rigidità, dolore alla palpazione, gonfiore locale e riduzione temporanea della capacità di generare forza. A livello biochimico, si osserva un aumento di enzimi muscolari nel sangue, come creatina chinasi (CK) e lattato deidrogenasi (LDH), indicatori del danno cellulare. Tuttavia, questo processo non rappresenta necessariamente un elemento negativo. Il danno muscolare acuto attiva meccanismi riparativi e adattativi: la risposta infiammatoria promuove la proliferazione delle cellule satellite, la sintesi proteica e il rimodellamento del tessuto muscolare, portando a un rafforzamento strutturale e funzionale del muscolo. Ripetuti stimoli simili, nel tempo, inducono un effetto protettivo noto come "effetto ripetuto", per cui la stessa stimolazione provoca una minore risposta infiammatoria e una più rapida riparazione. In questo senso, il DOMS, pur essendo una manifestazione spiacevole, rappresenta una fase essenziale del processo adattativo muscolare.

3.4 Recupero, supercompensazione e markers di performance

Il recupero è il periodo in cui l'organismo ripristina l'omeostasi dopo uno stimolo allenante, ristabilendo le funzioni fisiologiche alterate. Durante questa fase, si assiste a una progressiva normalizzazione delle riserve energetiche (ATP, fosfocreatina, glicogeno), all'eliminazione dei metaboliti accumulati e alla riparazione dei tessuti danneggiati. Se l'intensità dello stimolo è adeguata e il recupero sufficiente, si verifica un fenomeno chiamato supercompensazione, in cui le capacità funzionali migliorano oltre il livello iniziale, consentendo un progresso prestativo. Tra i marker più utilizzati per valutare la qualità del recupero e lo stato di affaticamento vi sono il test di salto verticale (CMJ), il valore della forza isometrica massima, il livello di creatina chinasi sierica, la percezione soggettiva della fatica (VAS, RPE) e parametri di variabilità della frequenza cardiaca (HRV). Il CMJ, in particolare, rappresenta un indicatore sensibile della capacità del sistema neuromuscolare di esprimere potenza esplosiva, ed è frequentemente impiegato per monitorare le fluttuazioni della prestazione nel breve periodo post-esercizio.

3.5 Evidenze scientifiche sugli effetti acuti dei protocolli RM

I protocolli di resistance training basati su ripetizioni massimali (RM) fino al cedimento sono ampiamente utilizzati sia in ambito sportivo che riabilitativo. Questi protocolli inducono un'elevata attivazione muscolare, con conseguente incremento della produzione di lattato, stress metabolico, deplezione del glicogeno e marcata stimolazione del sistema endocrino. Gli effetti acuti includono una significativa riduzione della capacità esplosiva (misurata tramite test come il CMJ), un aumento del DOMS, alterazioni nella funzionalità neuromuscolare e un prolungato tempo di recupero.

Diversi studi hanno dimostrato che l'effetto del cedimento muscolare è più marcato negli esercizi multiarticolari, come lo squat o il deadlift, rispetto a quelli monoarticolari. L'affaticamento cumulativo prodotto da tali esercizi può interferire con la performance nelle ore e nei giorni successivi, soprattutto se il recupero è inadeguato. Inoltre, vi è un potenziale aumento del rischio di infortuni legato alla compromissione della tecnica esecutiva durante le fasi di fatica estrema. Tuttavia, è anche vero che questi protocolli possono stimolare adattamenti positivi se inseriti in maniera strategica all'interno del piano di allenamento.

3.6 Analisi biomeccanica delle fasi del salto: interpretazione dei phase-specific predictors

Il salto verticale contro-movimento (CMJ) non è soltanto un test globale di performance esplosiva, ma rappresenta uno strumento estremamente utile per indagare i meccanismi neuromuscolari alla base della produzione di forza in diverse fasi temporali del movimento. Grazie all'utilizzo delle piattaforme di forza, è possibile scomporre il CMJ in fasi distinte che riflettono le componenti eccentriche, isometriche e concentriche del ciclo allungamento-accorciamento.

- La fase di "unloading" è quella iniziale in cui il soggetto si svincola dalla posizione statica, mostrando una leggera riduzione della forza verticale rispetto al peso corporeo. Tale fase è indicativa dell'attivazione anticipatoria e della volontà di innescare il movimento esplosivo.
- La fase di "yielding" rappresenta il momento in cui il centro di massa si abbassa progressivamente e i muscoli estensori degli arti inferiori si allungano in modo controllato. In questa fase si accumula energia potenziale elastica ed è cruciale la capacità eccentrica del muscolo.
- La fase di "braking" è caratterizzata dall'inversione del movimento: il soggetto frena la discesa e inizia a produrre forza verso l'alto. Questa è una delle fasi più sensibili

alla fatica, in quanto richiede un'elevata rapidità di reclutamento motorio e una notevole efficienza neuromuscolare.

- Infine, la fase "concentrica" rappresenta la spinta propriamente detta, ovvero l'accelerazione del corpo verso l'alto fino al momento del distacco. Essa riflette il potenziale di produzione di forza massima e la coordinazione tra i vari segmenti corporei.

L'esecuzione di esercizi ad alta intensità e svolti fino al cedimento muscolare provocano alterazioni selettive di queste fasi, con una maggiore compromissione delle componenti eccentrico-reattive (yielding e braking) rispetto a quelle concentriche. Questo approccio consente di interpretare non solo l'entità della fatica, ma anche la qualità del recupero motorio nelle ore successive, offrendo indicazioni pratiche su quali gesti motori o esercitazioni evitare nel breve termine post-esercizio.

L'analisi delle fasi specifiche del CMJ diventa quindi un potente strumento diagnostico non invasivo per monitorare lo stato funzionale dell'atleta, valutare il carico indotto da differenti protocolli di allenamento e pianificare strategie di recupero ottimali in contesti educativi, sportivi o preventivi.

Capitolo 4 – Studio sperimentale

4.1 Obiettivi e ipotesi di lavoro

L'obiettivo del presente studio è analizzare gli effetti acuti e subacuti di una singola seduta di allenamento di forza eseguita fino al cedimento muscolare con il protocollo 3×12 RM di deadlift, su studenti universitari sani di età compresa tra 20 e 25 anni. La valutazione si focalizza su due dimensioni principali: da un lato, l'impatto prestativo a breve termine attraverso l'analisi della capacità di salto verticale; dall'altro, le implicazioni salutistiche e funzionali, in particolare l'insorgenza e la percezione del dolore muscolare a insorgenza ritardata (DOMS), misurata tramite scala NPRS (Farrar et al., 2001).

Un aspetto innovativo dello studio consiste nell'utilizzo di una pedana di forza per eseguire un'analisi biomeccanica dettagliata del CMJ, suddividendo il gesto motorio in fasi specifiche (unloading, yielding, braking e concentric). Questa suddivisione consente di individuare con precisione quale componente biomeccanica risulti maggiormente compromessa nelle diverse fasi temporali post-esercizio. Tale approccio permette non solo di valutare l'andamento prestativo globale, ma anche di individuare eventuali deficit fase-specifici che possano avere rilevanza in ambito riabilitativo, preventivo e prestativo.

Lo studio include un gruppo di controllo che non ha eseguito l'esercizio ma solo il test di salto, per confrontare le variazioni prestative e percettive in assenza di stimolo allenante.

Le ipotesi principali del lavoro sono:

Una singola seduta di allenamento di forza al cedimento con 3×12 RM nel deadlift produce una significativa riduzione della performance di salto verticale (CMJ) immediatamente dopo l'esercizio, con un parziale recupero a 30 minuti e completo a 24 ore.

L'intensità percepita del DOMS aumenta progressivamente dopo l'allenamento, raggiungendo il picco tra le 24 e le 48 ore.

I parametri biomeccanici fase-specifici del CMJ risultano maggiormente compromessi nelle fasi successive all'allenamento, suggerendo che alcune componenti neuromeccaniche siano più vulnerabili al carico da cedimento.

Il confronto con il gruppo di controllo mostrerà che le alterazioni prestative e percettive sono attribuibili all'esercizio e non a fattori esterni (adattamento al test o variazioni circadiane).

I risultati offriranno spunti utili per comprendere se, e in quale misura, un carico allenante su esercizi multiarticolari come il deadlift possa essere sostenibile e raccomandabile in contesti salutistici, al di fuori del paradigma sportivo competitivo.

Lo studio, infine, intende contribuire al dibattito sul rapporto tra esercizio al cedimento, adattamenti funzionali e rischio percepito, proponendo un modello sperimentale replicabile in contesti universitari e clinici.

4.2 Campione e criteri di inclusione

Trentadue soggetti attivi (età: 21.1 ± 1.8 anni; altezza: 1.76 ± 0.1 m; peso: 74.5 ± 9 kg; indice di massa corporea: 24 ± 2.5 kg/m²) hanno volontariamente partecipato allo studio. I criteri di inclusione erano: essere in buona salute, avere un'età compresa tra i 18 e i 30 anni e avere almeno un anno di esperienza nell'allenamento contro resistenza. I criteri di esclusione, invece, includevano il fumo, il consumo di più di tre bevande alcoliche al giorno e la presenza di malattie acute o croniche o trattamenti farmacologici con impatto sul recupero muscolare e sulle prestazioni muscolo-scheletriche. Ogni partecipante ha firmato un modulo di consenso informato scritto prima di iniziare il progetto sperimentale. Il protocollo è stato condotto in conformità con la Dichiarazione di Helsinki (revisione di Fortaleza) per la ricerca con volontari umani ("World Medical Association Declaration of Helsinki," 2013).

4.3 Disegno Sperimentale

Nella prima sessione, i partecipanti sono stati assegnati in modo casuale a uno dei due gruppi: controllo (CON, 11 uomini e 1 donna) e deadlift (DL, 17 uomini e 3 donne). Tutti i partecipanti hanno poi effettuato una sessione di familiarizzazione composta da cinque serie da tre ripetizioni di salti con contromovimento (CMJ). Queste sessioni sono state supervisionate da due ricercatori qualificati che hanno fornito precise indicazioni sull'esecuzione del gesto e feedback correttivi per garantire una tecnica corretta. Una settimana dopo, durante la seconda sessione, i partecipanti hanno eseguito un test con carico incrementale per stimare la singola ripetizione massimale (1RM) per il deadlift utilizzando pesi liberi. La terza sessione, condotta 48 ore dopo, è iniziata con un riscaldamento standardizzato composto da cinque minuti di camminata veloce sul treadmill (5-6,5 km/h) seguiti da cinque minuti di esercizi di mobilitazione per gli arti superiori e inferiori. I partecipanti hanno quindi eseguito tre CMJ per stabilire le prestazioni al baseline (T0). Successivamente, il gruppo DL ha completato delle serie preparatorie specifiche prima di eseguire il protocollo di esercizio contro resistenza 3x12. Il tempo necessario per completare il protocollo è stato di circa 15 minuti (riscaldamento incluso) per ciascun partecipante; pertanto, il test CMJ al T1 è stato condotto circa 15 minuti dopo il T0 per il gruppo DL. Per mantenere la coerenza nei tempi tra i gruppi, il gruppo CON ha riposato per 15 minuti prima di eseguire i salti al T1. Infine, tutti i partecipanti hanno nuovamente ripetuto il test di salto verticale 30 minuti dopo il T1 (T30min). La quarta sessione, condotta 24 ore dopo il protocollo di affaticamento (T24h), includeva una valutazione del dolore muscolare post-esercizio e una ripetizione del test CMJ inizialmente eseguito al basale (T0). Inoltre, il dolore muscolare post-esercizio è stato valutato nuovamente 48 ore dopo il protocollo di allenamento per rilevarne la progressione.

4.3.1 Strumenti utilizzati

Per valutare la velocità di spostamento del carico, è stato utilizzato un trasduttore di posizione lineare validato, costituito da un encoder ottico per la misurazione dei movimenti angolari e da una bobina per la linearizzazione, che ha consentito una misurazione precisa dei movimenti lineari (Vitruve, Speed4lifts, Móstoles, Madrid, Spagna) (González-

Galán et al., 2024; Pérez-Castilla et al., 2019; Ruiz-Alias et al., 2024). Per misurare la forza di reazione verticale al suolo e calcolare i predittori specifici di fase dei CMJ, è stata utilizzata una piattaforma di forza (sistema MuscleLab™, tipo PFMA 3010e) con campionamento a 100 Hz (Calavalle et al., 2008).

4.3.2 Test di salto verticale

I partecipanti hanno eseguito tre CMJ, ciascuno separato da un intervallo di riposo di 30 secondi. Tutti i salti sono stati condotti sotto la supervisione di due ricercatori, che hanno istruito i partecipanti a iniziare la fase concentrica da un angolo al ginocchio di circa 90° e a saltare il più in alto possibile tenendo le mani sui fianchi (Bosco et al., 1983; Skala & Zemková, 2023). Se durante l'esecuzione di un salto si verificava un errore tecnico (come una profondità di accosciata errata, un movimento preparatorio aggiuntivo o una chiara mancanza di massimo intento), al partecipante veniva chiesto di ripetere il salto. Al fine di valutare la prestazione complessiva, per l'analisi dei dati è stato utilizzato il valore medio dei tre salti.

4.3.3 Stima dell'1RM

Le stime individuali dell'1RM sono state determinate utilizzando un test di carico progressivo. Il deadlift è stato eseguito con un bilanciere olimpico standard. I partecipanti hanno iniziato il movimento da una posizione eretta con il bilanciere appoggiato sul pavimento, i piedi alla larghezza delle spalle e le mani che impugnavano il bilanciere appena avanti rispetto alle ginocchia. Con la colonna vertebrale neutra e il core contratto, hanno sollevato il bilanciere estendendo contemporaneamente le anche e le ginocchia fino a raggiungere una postura completamente eretta. Il bilanciere è stato poi abbassato in modo controllato sul pavimento, completando la ripetizione. Ogni sollevamento è stato eseguito con la massima velocità intenzionale durante la fase concentrica. Per determinare l'1RM, ogni soggetto ha iniziato con un carico con cui si sentiva a proprio agio, che è stato gradualmente aumentato fino a raggiungere una velocità concentrica media della fase propulsiva pari o inferiore a 0,05 m/s (Sanchez-Medina et al., 2010). Infine, l'equazione di regressione lineare è stata determinata utilizzando soglie di velocità minima basate sulla letteratura di 0,15 m/s (Weakley et al., 2021), mentre le ripetizioni eseguite a una velocità media superiore a 1,0 m/s non sono state prese in considerazione. Il carico individuale corrispondente al 70% di 1RM è stato determinato e utilizzato per il protocollo di allenamento 3 x 12 (Pareja- Blanco et al., 2017).

4.3.4 Protocollo di allenamento: 3 x 12 RM deadlift

Il riscaldamento che precedeva il protocollo di allenamento di deadlift consisteva in tre serie da sei ripetizioni di stacchi da terra eseguiti con carichi progressivamente crescenti: 40%, 50% e 60% dell'1RM, con un intervallo di recupero passivo di un minuto tra una serie e l'altra. Dopo due minuti di recupero, i partecipanti hanno eseguito il protocollo di allenamento 3x12 al 70% dell'1RM. Ogni serie era separata da un intervallo di recupero passivo di due minuti. Sia nel riscaldamento che durante i protocolli affaticanti, ai partecipanti è stato chiesto di eseguire tutte le ripetizioni alla massima velocità intenzionale.

4.3.5 Scala di valutazione NPRS per la misurazione dei DOMS

I dolori muscolari a insorgenza ritardata (DOMS) sono stati misurati 24 e 48 ore dopo il completamento del protocollo di allenamento per valutare l'eventuale fatica residua. I partecipanti hanno descritto verbalmente il loro dolore muscolare utilizzando la Scala Numerica di Valutazione del Dolore (NPRS), che consiste in 11 punti che vanno da 0 (nessun dolore) a 10 (dolore estremo) (Farrar et al., 2001; Hawker et al., 2011; Jensen et al., 1986; Jensen & McFarland, 1993; Machado et al., 2023; Rodriguez, 2001; Romero-Moraleda et al., 2017). Questo metodo è stato scelto per la sua efficienza, poiché richiede meno di un minuto per essere somministrato, e per la sua semplicità e affidabilità nella valutazione dell'intensità del dolore muscolare (Hawker et al., 2011; Jensen et al., 1986, 1989; Langley & Sheppard, 1985). I DOMS a 24 ore (DOMS24h) sono stati misurati durante la quarta sessione, immediatamente prima del riscaldamento, mentre i DOMS a 48 ore (DOMS48h) sono stati rilevati tramite una telefonata.

4.4 Analisi dei dati

Tutte le analisi statistiche sono state condotte utilizzando GraphPad Prism 8.0 (GraphPad Software, San Diego, CA, USA). Considerando il disegno con misure ripetute e la presenza di alcuni dati mancanti, è stato applicato un modello lineare a effetti misti con stima di massima verosimiglianza ristretta (REML) per esaminare gli effetti fissi del tempo (T0, T1, T30min, T24h), del gruppo (CON, DL) e della loro interazione (tempo × gruppo) per ciascuna variabile biomeccanica derivata dal countermovement jump (CMJ). Per controllare la variabilità basale interindividuale, tutte le misure di outcome sono state normalizzate calcolando le variazioni percentuali rispetto al basale (T0), impostato allo 0% per ciascun partecipante e calcolato come $\% \Delta = ((Tx - T0) / T0) \times 100$, dove Tx indica il valore a T1, T30min o T24h. Questa normalizzazione ha permesso una più chiara interpretazione delle modificazioni legate alla fatica tra gruppi e punti temporali. Non è stata assunta la sfericità e, quando necessario, eventuali violazioni sono state corrette utilizzando la correzione di Geisser–Greenhouse. I confronti multipli sono stati aggiustati usando il test post hoc di Dunnett per le variabili derivate dal CMJ e la significatività statistica è stata fissata a $p < 0.05$. I dati sono riportati come media $\pm$ deviazione standard (SD), salvo diversa indicazione. Gli effetti di interazione sono stati interpretati in base alla magnitudine e alla direzione delle variazioni percentuali rispetto al gruppo CON. Le dimensioni dell'effetto non sono state calcolate formalmente; al loro posto, la magnitudine delle differenze tra gruppi è stata contestualizzata utilizzando le variazioni percentuali.

I dolori muscolari a insorgenza ritardata sono stati valutati utilizzando la Numerical Pain Rating Scale (NPRS, 0–10) a 24 h e 48 h post-esercizio ed è stata analizzata mediante una ANOVA mista a due vie, con Tempo (T24h, T48h) come fattore entro-soggetto e Condizione (CON, DL) come fattore tra-soggetti. Quando venivano rilevati effetti principali o interazioni significative, sono stati applicati i test post hoc HSD di Tukey per i confronti a coppie. La significatività statistica è stata fissata a $p < 0.05$ e i risultati sono stati riportati come differenze medie e variazioni percentuali rispetto alla condizione di controllo.

4.5 Risultati

I risultati sono riassunti nelle tabelle 5-8. Le variazioni rappresentative delle variabili CMJ selezionate sono illustrate nella figura 4. Ogni cella della tabella riporta la variazione percentuale all'interno della condizione rispetto al basale (T0), seguita dalla differenza tra le condizioni rispetto al controllo (Δ vs CON), con i corrispondenti valori p riferiti esclusivamente al confronto con la condizione CON.

Nelle variabili relative alla forza (Tabella 5), la condizione DL ha mostrato riduzioni significative nella rate of force development del braking (Braking RFD) a T30min ($-17,9\%$; $\Delta -16,6\%$; $p = 0,03$) e T24h ($-13,0\%$; $\Delta -13,4\%$; $p = 0,02$). La forza espressa nella posizione più bassa del centro di massa (F at PosMin) è diminuita significativamente nella condizione DL a T30min ($p = 0,03$). Non sono stati rilevati effetti significativi per la forza concentrica media.

La durata dell'unloading nel gruppo DL ha mostrato una riduzione solo dopo 24 ore (T24h) ($p = 0,03$). Le durate della fase eccentrica e concentrica hanno mostrato aumenti nei primi punti temporali (rispettivamente, total eccentric duration e concentric duration) ($p \approx 0,05$) nella condizione DL, mentre nessun altro parametro temporale è cambiato in modo significativo.

Per quanto riguarda le variabili relative alla posizione e allo spostamento (Tabella 7), l'altezza di volo (Flight Height) è diminuita in modo significativo a T30min e T24h nel gruppo DL. L'altezza del salto (Jump Height) è diminuita in modo significativo a T24h nella condizione DL ($p = 0,01$).

Nelle variabili relative al lavoro, all'energia e ai composti (Tabella 8), nel lavoro concentrico (Concentric work) è stata osservata una riduzione a T24h ($p = 0,05$) nella condizione DL. Infine, l'indice neuromuscolare composito, il Reactive Strength Index modified (RSImod) è diminuito significativamente a T24h nel gruppo DL ($p = 0,03$).

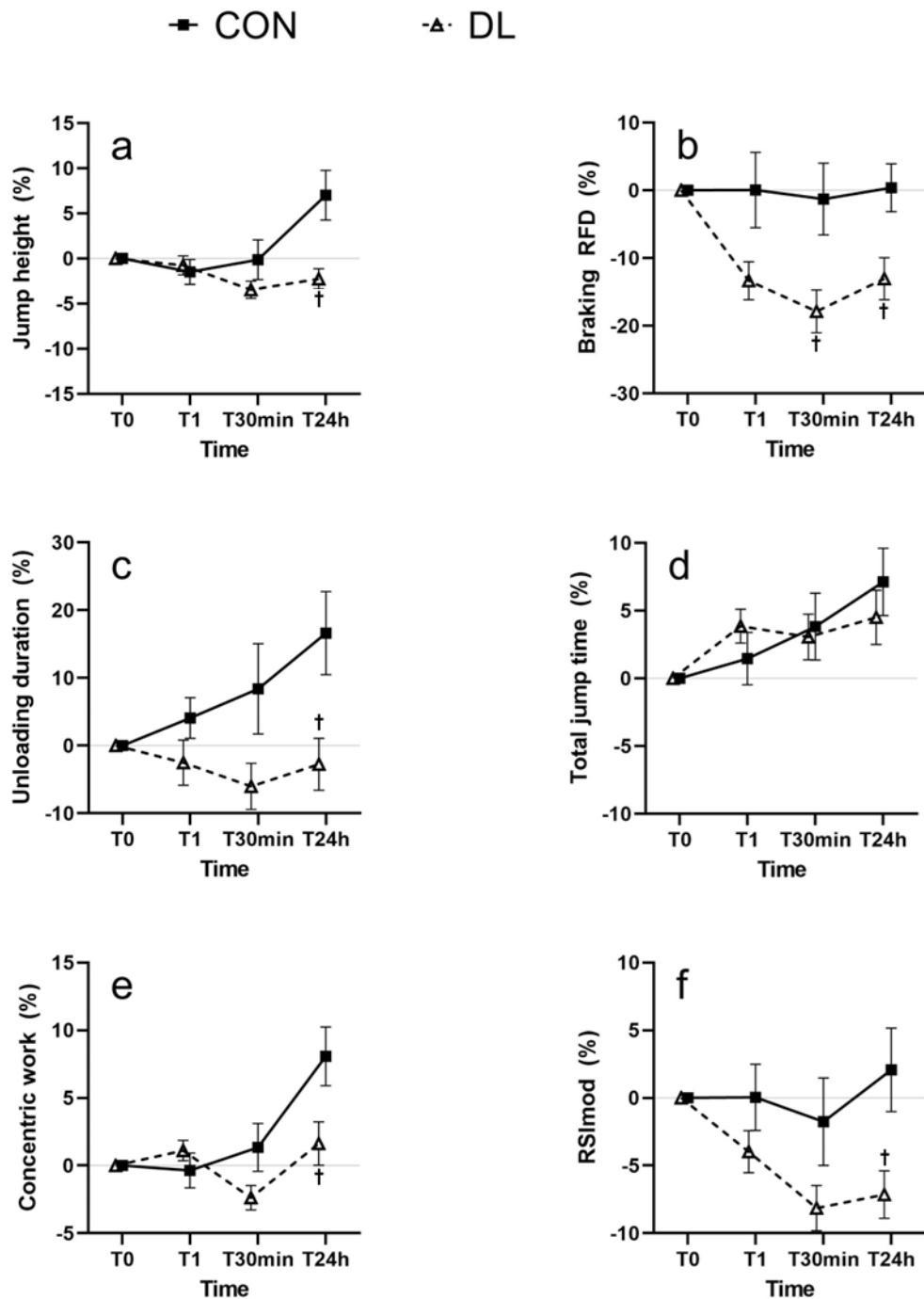


Figura 4. Variazioni percentuali rappresentative in alcune variabili CMJ rispetto al valore basale (T0) per le due condizioni: controllo (CON) e stacco da terra (DL). Il valore di riferimento (T0) è impostato allo 0%. I valori sono presentati come media $\pm$ errore standard. a) Altezza del salto; b) Tasso di sviluppo della forza nella sottofase del Braking (Braking RFD); c) Durata della fase di Unloading; d) Tempo totale di salto; e) Lavoro concentrico; f) Indice di forza reattiva modificato (RSI_{mod}). † Statisticamente significativo da DL a CON ($p < 0,05$).

Variabile	Condizione	T1 (Δ vs CON; p)	T30min (Δ vs CON; p)	T24h (Δ vs CON; p)	Significatività
Braking RFD	Deadlift	-13.34% (+13.37%; 0.08)	-17.89% (+16.61%; 0.03)	-13.04% (+13.41%; 0.02)	A T30min e a T24h
Yielding RFD	Deadlift	-4.59% (+2.08%; 0.87)	-3.23% (+2.04%; 0.92)	-4.69% (-4.15%; 0.73)	n.s.
Unloading RFD	Deadlift	+7.87% (-7.58%; 0.73)	+18.79% (-0.97%; >0.99)	+11.44% (+0.78%; >0.99)	n.s.
Force At PosMin	Deadlift	-4.50% (+3.95%; 0.13)	-6.94% (+5.99%; 0.03)	-3.00% (+3.28%; 0.10)	A T30min
Minimum Force (Fmin)	Deadlift	+4.09% (+2.64%; 0.98)	+12.70% (+9.67%; 0.75)	+10.42% (+18.19%; 0.46)	n.s.
Average Concentric Force	Deadlift	-2.58% (+2.28%; 0.07)	-3.15% (+1.73%; 0.27)	-2.69% (+1.33%; 0.53)	n.s.

Tabella 5. Variabili relative alla Forza: Le variabili relative alla forza derivate dall'analisi del CMJ. Ogni cella riporta due valori: il primo rappresenta la variazione percentuale all'interno della condizione Deadlift rispetto al basale (T0), mentre il secondo (Δ vs CTRL) indica la differenza tra la condizione Deadlift rispetto alla condizione Controllo nello stesso momento. I valori p corrispondono esclusivamente al confronto con la condizione di Controllo. I valori in grassetto indicano differenze statistiche ($p < 0,05$); n.s. = non significativo; livello di tendenza = $0,05 \leq p < 0,10$.

Variabile	Condizione	T1 (Δ vs CON; p)	T30min (Δ vs CON; p)	T24h (Δ vs CON; p)	Significatività
Total Jump Time	Deadlift	+3.85% (-2.39%; 0.47)	+3.06% (+0.75%; 0.95)	+4.51% (+2.62%; 0.62)	n.s.
Unloading Duration	Deadlift	-2.52% (+6.58%; 0.25)	-6.03% (+14.39%; 0.12)	-2.75% (+19.36%; 0.03)	A T24h
Eccentric Yielding Duration	Deadlift	+5.48% (-2.33%; 0.81)	+5.47% (-1.77%; 0.94)	+6.52% (+4.12%; 0.78)	n.s.
Eccentric Braking Duration	Deadlift	+8.82% (-7.45%; ~0.05)	+10.09% (-8.28%; 0.05)	+9.74% (-7.81%; 0.15)	Livello di tendenza a T30min
Total Eccentric Duration	Deadlift	+6.92% (-5.09%; 0.18)	+7.55% (-4.28%; 0.36)	+7.75% (-3.19%; 0.66)	n.s.
Concentric Duration	Deadlift	+5.09% (-4.89%; ~0.05)	+4.37% (-1.30%; 0.82)	+6.97% (-0.43%; 0.99)	Livello di tendenza a T30min

Tabella 6. Variabili relative al Tempo e alla Durata: Parametri temporali e relativi alla durata che caratterizzano le fasi del CMJ. Ogni cella riporta due valori: il primo rappresenta la variazione percentuale all'interno della condizione Deadlift rispetto al basale (T0), mentre il secondo (Δ vs CTRL) indica la differenza tra la condizione Deadlift rispetto alla condizione Controllo nello stesso momento. I valori p corrispondono esclusivamente al confronto con la condizione di Controllo. I valori in grassetto indicano differenze statistiche ($p < 0,05$); n.s. = non significativo; livello di tendenza = $0,05 \leq p < 0,10$.

Variabile	Condizione	T1 (Δ vs CTRL; p)	T30min (Δ vs CTRL; p)	T24h (Δ vs CTRL; p)	Significatività
PosMin	Deadlift	+4.23% (-2.25%; 0.70)	-0.51% (+5.28%; 0.28)	+6.00% (+6.54%; 0.34)	n.s.
Flight Height	Deadlift	-0.64% (+1.56%; 0.49)	-5.86% (+7.12%; 0.01)	-3.42% (+12.16%; 0.002)	A T30min e a T24h
Jump Height	Deadlift	-0.75% (-0.74%; 0.87)	-3.47% (+3.33%; 0.29)	-2.26% (+9.27%; 0.01)	A T24h

Tabella 7. Variabili relative al Tempo e alla Posizione: Variabili relative alla posizione e allo spostamento ottenute dall'analisi del CMJ. Ogni cella riporta due valori: il primo rappresenta la variazione percentuale all'interno della condizione Deadlift rispetto al basale (T0), mentre il secondo (Δ vs CTRL) indica la differenza tra la condizione Deadlift rispetto alla condizione Controllo nello stesso momento. I valori p corrispondono esclusivamente al confronto con la condizione di Controllo. I valori in grassetto indicano differenze statistiche ($p < 0,05$); n.s. = non significativo; livello di tendenza = $0,05 \leq p < 0,10$.

Variabile	Condizione	T1 (Δ vs CTRL; p)	T30min (Δ vs CTRL; p)	T24h (Δ vs CTRL; p)	Significatività
Concentric Work	Deadlift	+1.11% (-1.47%; 0.51)	-2.38% (+3.72%; 0.13)	+1.63% (+6.45%; 0.05)	Livello di tendenza a T24h
Eccentric Work	Deadlift	+4.61% (-3.38%; 0.49)	-0.04% (+4.51%; 0.41)	+7.05% (+4.86%; 0.56)	n.s.
RSImod	Deadlift	-3.98% (+4.02%; 0.29)	-8.14% (+6.37%; 0.16)	-7.14% (+9.22%; 0.03)	A T24h

Tabella 8. Variabili relative al Lavoro, all'Energia e Composite: Variabili relative alle prestazioni in termini di lavoro, energia e neuromuscolari (RSImod) relative all'analisi del CMJ. Ogni cella riporta due valori: il primo rappresenta la variazione percentuale all'interno della condizione Deadlift rispetto al basale (T0), mentre il secondo (Δ vs CTRL) indica la differenza tra la condizione Deadlift rispetto alla condizione Controllo nello stesso momento. I valori p corrispondono esclusivamente al confronto con la condizione di Controllo. I valori in grassetto indicano differenze statistiche ($p < 0,05$); n.s. = non significativo; livello di tendenza = $0,05 \leq p < 0,10$.

Per quanto concerne i DOMS, i punteggi NPRS (Tabella 5) hanno rivelato effetti principali significativi del tempo ($F = 8,321$, $p = 0,005$) e della condizione ($F = 24,025$, $p < 0,001$), senza interazioni significative tempo $\times$ condizione ($F = 2,049$, $p = 0,135$). Il dolore muscolare percepito era significativamente più elevato a T24h rispetto a T48h (differenza media = $1,41 \pm 0,49$, $p = 0,005$), riflettendo una diminuzione complessiva del dolore nel tempo in tutte le condizioni. In tutte le condizioni, nel gruppo DL (differenza media rispetto al controllo = $4,08 \pm 0,62$, $p < 0,001$) sono stati evidenziati DOMS significativamente maggiori rispetto alla condizione CON. I test post hoc tempo $\times$ condizione hanno confermato che a T24h il protocollo di allenamento ha indotto un dolore sostanzialmente maggiore rispetto alla condizione di controllo (DL: $p = 0,041$). A T48h, il dolore è diminuito nel gruppo DL, ma è rimasto maggiore rispetto al gruppo CON (DL: $p = 0,013$). La Figura 5 illustra questa tendenza temporale, con un picco di indolenzimento a T24h e un parziale recupero a T48h.

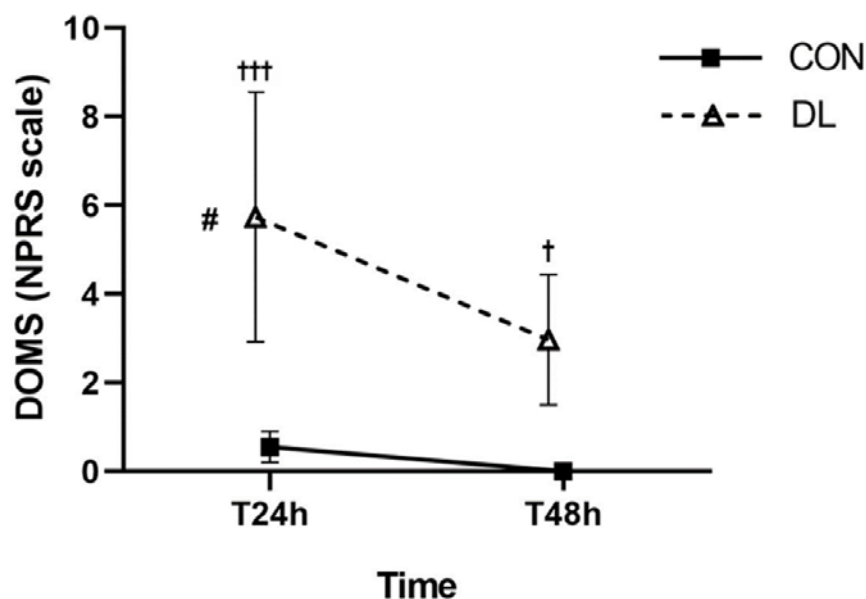


Figura 5. Indolenzimento muscolare a insorgenza ritardata (DOMS) per le condizioni di controllo (CON) e stacco da terra (DL) relativo agli intervalli di tempo T24h e T48h, misurato con la Scala Numerica di Valutazione del Dolore (NPRS) da 0 a 10. I valori sono presentati come media $\pm$ errore standard. † Statisticamente significativo da DL a CON ($p < 0,05$); ††† Statisticamente significativo da DL a CON ($p < 0,001$); # Statisticamente significativo da DL a T24h rispetto a DL a T48h ($p < 0,05$).

4.6 Discussione

Effetti acuti immediati (T1) sulle prestazioni e sulla cinetica del salto

Nel presente studio, il protocollo di allenamento non ha portato ad alcun decremento apprezzabile dell'altezza del salto e dell'altezza di volo immediatamente dopo l'esercizio. Questo risultato è coerente con ricerche precedenti che hanno esaminato gli effetti acuti del deadlift sulla prestazione di salto verticale (Arias et al., 2016; Leyva WD, 2016).

Dal punto di vista biomeccanico, lo stacco da terra coinvolge prevalentemente le anche, interessando principalmente la catena posteriore (glutei, muscoli posteriori della coscia, muscoli erettori spinali) e meno i muscoli presenti nel comparto anteriore della coscia, come i quadricipiti (Nigro & Bartolomei, 2020). Nel nostro studio, inoltre, è molto probabile che l'affaticamento neuromuscolare abbia prevalso sui potenziali effetti di potenziamento post-attivazione (PAP). Tale ipotesi sarebbe confermata da evidenze scientifiche, le quali attestano che ad alte intensità, l'affaticamento prevale sul potenziamento (Arias et al., 2016; Leyva WD, 2016).

In termini di velocità di sviluppo della forza, lo yielding RFD ha mostrato un leggero aumento, non significativo, che deve essere interpretato con cautela.

Recupero a breve termine (30 min)

Trenta minuti dopo l'esercizio, l'affaticamento neuromuscolare residuo persisteva nel gruppo DL. Alcune alterazioni, infatti, sono diventate più evidenti a 30 minuti rispetto a quelle immediatamente successive al protocollo: sono stati osservati cali nell'altezza di volo e nel braking RFD, accompagnati da un leggero prolungamento nella durata eccentrica del braking, suggerendo una manifestazione ritardata dell'affaticamento.

Recupero ed effetti residui a 24 ore

A 24 ore (T24), la maggior parte dei parametri di prestazione, in particolare l'altezza del salto e l'altezza di volo, erano sostanzialmente tornati ai valori basali nella condizione DL. Tuttavia, rispetto alla condizione CON, sono rimaste alcune differenze: i partecipanti del gruppo CON tendevano a migliorare leggermente al retest (probabilmente grazie a una maggiore freschezza e ad un "learning effect" rispetto al test), mentre il gruppo DL recuperava senza però superare le performance basali. Alcuni indici temporali sono rimasti compromessi in modo evidente dopo lo stacco da terra (ad esempio, RSImod ancora ridotto, durate eccentriche leggermente più lunghe e RFD di frenata al di sotto dei valori basali), suggerendo un impatto della fatica neuromuscolare residua sulla forza reattiva.

Altezza di salto e altezza di volo: contestualizzazione nella letteratura

L'altezza di salto (JH) e l'altezza di volo (FH) rappresentano indicatori diretti delle prestazioni neuromuscolari durante il CMJ. Prove sostanziali indicano che entrambi i parametri mostrano un calo immediato dopo un esercizio di resistenza ad alta intensità, con un recupero dei valori basali, completo o parziale, che avviene entro 24-48 ore, a seconda di fattori quali la modalità di esercizio, il volume e lo schema di ripetizione (Pareja- Blanco et al., 2017). Ad esempio, Kotikangas e colleghi (Kotikangas et al., 2025) hanno riportato una significativa riduzione dell'altezza del CMJ immediatamente dopo 5×10 RM di squat, con ritorno al valore basale entro 24 ore. Nel presente studio, il gruppo DL ha mostrato una diminuzione immediata non così netta e ciò è in linea con i risultati di Barnes et al. (2019), i quali hanno osservato che gli stacchi da terra inducono un minore affaticamento periferico rispetto agli squat, principalmente a causa dell'inferiore carico di lavoro cui sono sottoposti i quadricipiti, muscoli coinvolti in maniera primaria nel salto verticale (Barnes et al., 2019).

RSImod e tempo di esecuzione

L'indice di forza reattiva modificato (RSImod), definito come il rapporto tra l'altezza del salto e il tempo di decollo, è un indicatore composito della capacità esplosiva: valori più elevati indicano una maggiore elevazione raggiunta in un tempo di contatto più breve (Ebben & Petushek, 2010). In condizioni di affaticamento neuromuscolare, l'RSImod diminuisce tipicamente a causa sia dell'altezza di salto inferiore che della durata di decollo più lunga (Gathercole et al., 2015). Gathercole e colleghi, in un altro studio del 2015, hanno dimostrato che la durata del contatto aumenta dopo protocolli di affaticamento, fungendo da meccanismo compensatorio per generare impulso con muscoli

temporaneamente indeboliti (Gathercole et al., 2015). Il gruppo DL ha mantenuto tempi di esecuzione leggermente prolungati, suggerendo un recupero più lento della velocità di contrazione (Gathercole et al., 2015). In termini applicativi, anche diminuzioni moderate dell'RSI_{mod} segnalano una compromissione transitoria della capacità reattiva, captando cambiamenti che la sola altezza del salto potrebbe non rilevare (Ebben & Petushek, 2010; Gathercole et al., 2015).

Strategia di movimento e predittori della curva forza-tempo

Riduzioni selettive della RFD e cambiamenti nella durata delle fasi eccentriche o concentriche indicano che i predittori derivati dalla curva forza-tempo sono sensibili a specifiche componenti legate all'affaticamento, anche quando l'altezza del salto rimane invariata. Tra tali parametri, il rapporto tempo di volo/tempo di contrazione, la durata della fase concentrica e il tempo necessario per raggiungere la forza massima si sono dimostrati utili per rilevare l'affaticamento “nascosto” che non si riflette nelle metriche di prestazione complessive (Gathercole et al., 2015; Yoshida et al., 2024). Inoltre, la modulazione della profondità del contromovimento e una strategia di ammortizzazione muscolare più “cauta”, che spesso prevede una fase di frenata più lunga con uno sviluppo della forza più lento rispetto al normale, sono adattamenti ben noti in condizioni di affaticamento (Spencer et al., 2023), che influenzano il trasferimento di energia elastica e l'impulso concentrico.

Panoramica comparativa e implicazioni pratiche

Il deadlift ha effetti acuti modesti sull'altezza del salto ma mostra manifestazioni di affaticamento importanti a 30 minuti, in particolare nella RFD e nella durata eccentrica. Questo protocollo di esercizio richiede circa 24 ore per un recupero quasi completo dell'altezza del salto, tuttavia, gli indicatori di produzione rapida della forza e coordinazione del contromovimento possono rimanere compromessi.

Gli stacchi da terra, sebbene abbiano un impatto iniziale non così elevato, richiedono un tempo di recupero corposo, poiché la reattività neuromuscolare può diminuire con il passare del tempo, infatti, possono causare affaticamento centrale/periferico che riduce l'efficienza neuromuscolare fino al giorno successivo.

Indolenzimento muscolare ritardato e sua relazione con l'affaticamento neuromuscolare

I risultati dei DOMS rispecchiano i distinti profili di affaticamento-recupero osservati nelle variabili derivate dal CMJ. Lo stacco da terra ha prodotto aumenti significativi dell'indolenzimento rispetto al controllo, con un picco a 24 ore e un parziale recupero a 48 ore. Il gruppo DL ha fatto registrare un dolore rilevante a 24 ore, seguito poi da un netto calo a 48 ore. Tale risultato è legato al suo modello di affaticamento meccanico “ritardato” osservato nelle metriche di salto (compromissione considerevole fino a 24 ore post-esercizio) e ci induce a pensare che sono necessari almeno due giorni per recuperare da un protocollo come quello proposto nel nostro studio.

I movimenti che coinvolgono principalmente le anche, come il deadlift, impongono uno sforzo eccentrico notevole sulla catena posteriore, provocando un potenziale danno

muscolare e un dolore ritardato (Mo et al., 2023; Proske & Morgan, 2001). A tal proposito, i dati dei CMJ e dei DOMS descrivono aspetti complementari dello stesso processo di recupero, mettendo in luce la necessità di strutturare strategie di recupero specifiche per l'esercizio e di monitorare sia gli indicatori oggettivi (CMJ) che quelli soggettivi (DOMS) per cogliere l'intera portata dell'affaticamento post-esercizio.

Conclusioni

Il presente studio ha analizzato gli effetti acuti e il profilo di recupero neuromuscolare indotti da una singola sessione di deadlift eseguita a intensità moderata in termini percentuali (70% dell'1RM), ma caratterizzata da un volume elevato (3 serie da 12 ripetizioni) e condotta in prossimità del cedimento muscolare. Tale configurazione ha determinato uno stimolo ad elevato stress neuromuscolare complessivo, particolarmente rilevante nei contesti di prevenzione e rieducazione funzionale propri della formazione LM-67.

I risultati confermano l'utilità del salto con contromovimento (CMJ) come strumento semplice e affidabile per la valutazione dello stato neuromuscolare globale. Le misure di altezza di salto e di volo hanno descritto efficacemente l'andamento generale della prestazione e del recupero, mostrando come il ripristino della performance esterna possa avvenire anche in presenza di un recupero neuromuscolare incompleto. L'esecuzione del CMJ su pedane dinamometriche ha consentito una valutazione più approfondita del gesto motorio attraverso l'analisi della curva forza-tempo. In particolare, i predittori fase-specifici, quali la rapidità di sviluppo della forza, le durate delle fasi eccentriche e di frenata e l'indice di forza reattiva modificato (RSImod), si sono dimostrati sensibili nell'individuare condizioni di affaticamento neuromuscolare latente, evidenti soprattutto a 30 minuti e, in parte, fino a 24 ore dall'esercizio. Questi risultati indicano che il recupero della prestazione globale non coincide necessariamente con il pieno ripristino del controllo neuromuscolare e della capacità di produrre forza in tempi brevi. I predittori fase-specifici derivati dalla curva forza-tempo permettono quindi di cogliere alterazioni qualitative della strategia di movimento che rimangono "celate" quando si considerano esclusivamente gli outcome prestativi tradizionali. Dal punto di vista applicativo, tali evidenze sottolineano l'importanza, per il chinesioologo LM-67, di interpretare il CMJ come strumento di valutazione funzionale e non solo prestativa. La conoscenza dei parametri forniti dalle pedane dinamometriche consente una comprensione più completa dello stato neuromuscolare del soggetto e supporta decisioni più consapevoli nella modulazione dei carichi, nella gestione dei tempi di recupero e nella prevenzione di strategie compensatorie potenzialmente lesive.

In conclusione, l'integrazione del CMJ eseguito su pedana dinamometrica e dell'analisi dei predittori fase-specifici della curva forza-tempo rappresenta un approccio avanzato e coerente con le competenze del chinesioologo LM-67. Tale approccio permette di andare oltre la semplice valutazione della prestazione, offrendo una lettura più profonda e funzionale degli adattamenti neuromuscolari, con ricadute dirette sulla prevenzione e sulla rieducazione funzionale.

Capitolo 5 – Capitolo aggiuntivo, post discussione tesi per il conseguimento della laurea, riguardo come il protocollo a 12RM può essere utile nell'allenamento per il miglioramento della performance negli sport combat/arti marziali, in particolare per la muay thai, la kickboxing e la savate. A cura del tesista, il Dottore Magistrale LM68 e LM67 Roberto Bellotti, con la collaborazione del Prof. Carlo Varalda PhD.

Sono Roberto Bellotti, ho praticato a livello agonistico per molti anni gli sport da combattimento/arti marziali e, essendo stato un atleta della NAZIONALE ITALIANA per la muay thai, la kickboxing e la savate, voglio proporre, dopo la discussione della mia tesi di laurea, una ipotesi di come il protocollo di esercizio a 12RM di deadlift può essere utile per migliorare la performance in questi sport.

In questo capitolo, andrò a proporre una ipotesi di lavoro di 2 volte a settimana, il martedì e il venerdì, per un ciclo di 6 settimane di allenamento nel periodo preparatorio della stagione agonistica che possiamo definire di costruzione lontano dalle gare, per atleti agonisti o amatoriali di muay thai, kickboxing e savate. Iniziamo andando ancora ad analizzare in modo dettagliato i risultati del protocollo sperimentale a 12RM di deadlift sulla funzione neuromuscolare in fase acuta ripresi dalla figura 4:

Possiamo notare che nel jump height, unloading duration e concentric work abbiamo un marcato accumulo di fatica neuro muscolare nel gruppo DL rispetto al gruppo CON a T24; da notare che nel gruppo CON c'è stato un miglioramento sulla performance dei CMJ, molto probabilmente dovuto a un learning effect, una migliore freschezza neuro muscolare e quindi una migliore coordinazione intra e inter muscolare. Nel braking RFD si nota un marcato accumulo di fatica neuro muscolare nel gruppo DL rispetto al gruppo CON a T30 e T24, nel total jump time non ci sono significative differenze, mentre nel RSI mod, indice di forza reattiva modificato, abbiamo un marcato accumulo di fatica neuro muscolare a T24 nel gruppo DL rispetto al gruppo CON.

Dai grafici, si può vedere che questo abbassamento dei valori nei predittori fase specifici del CMJ con un adeguato periodo di riposo, con grande probabilità, porterebbe ad una supercompensazione; in particolare nel braking RFD, la capacità di generare forza esplosiva durante la sottofase di frenata eccentrica quando il COM (centro di massa) raggiunge la sua posizione più bassa, quindi il punto di massima accosciata e nell'RSI mod, definito come il rapporto tra l'altezza del salto e il tempo di decollo, possono portare a un aumento della forza esplosiva e della reattività nei vari movimenti, anche nel ciclo stiramento-accorciamento. Questi sono punti essenziali per la performance sportiva non solo negli atleti di muay thai, kickboxing e savate ma per tutti gli atleti degli sport combat-arti marziali.

Ipotesi di lavoro e protocollo di esercizio

Il campione dei partecipanti dovrà essere un minimo di 20 partecipanti, di età compresa tra i 18 e i 30 anni, in buona salute, uomini e/o donne, tutti atleti agonisti o amatoriali di muay thai o/e kickboxing o/e savate, tesserati con la federazione sportiva di appartenenza o con l'ente di promozione sportiva, fisicamente attivi/sportivi ricreativi.

Il protocollo sarà eseguito lontano dalle competizioni per chi svolge attività agonistica, dal venerdì antecedente alla prima settimana di lavoro, tutti i partecipanti effettueranno una fase di addestramento ai test che consisterà nell'eseguire 3 CMJ al massimo intento con 30 secondi di recupero tra i salti su pedana dinamometrica. Il valore medio dei 3 CMJ sarà il valore di baseline iniziale da prendere come riferimento. La domenica seguente tutti gli atleti effettueranno un test sul deadlift, come prima cosa per far fare familiarizzazione agli atleti che hanno poca dimestichezza con il gesto tecnico e con gli esercizi contro resistenza, poi per valutare il relativo massimale, 1RM, tramite il velocity based training (VBT) (vedi paragrafo 4.3.3). Anche nell'esercizio del deadlift ogni sollevamento deve essere eseguito con la massima velocità intenzionale durante la fase concentrica. Calcolato il massimale sul deadlift, gli atleti, dopo un adeguato riscaldamento, (vedi paragrafo 4.3.4), dovranno eseguire 3 serie da 12 ripetizioni con un carico del 70% dell'1RM con 2 minuti di recupero tra le serie. Questo protocollo di esercizio di 3 × 12 alla fatica con il 70% di 1RM nel deadlift, dovrà essere eseguito dagli atleti tutti i martedì e venerdì per 6 settimane consecutive, alla massima freschezza fisica possibile. Gli atleti dovranno eseguire in questi giorni programmati solo questo protocollo di esercizio, questo per rendere il più efficace possibile e massimizzare gli effetti fisiologici del deadlift e non avere variabili ulteriori nella valutazione dei risultati dell'allenamento. Al termine della quarta settimana, più precisamente la domenica della quarta settimana, verrà ricalcolato l'1RM dei partecipanti allo studio tramite il VBT (vedi paragrafo 4.3.3), perché nelle quattro settimane di esercizio contro resistenza al deadlift molto probabilmente ci sarà un aumento dell'1RM negli atleti, specialmente nei partecipanti che hanno meno dimestichezza con l'allenamento della forza attraverso l'uso di sovraccarichi. Il martedì successivo alla sesta settimana i partecipanti dovranno eseguire 3 CMJ al massimo intento su pedana dinamometrica con 30 secondi di recupero tra i salti, il valore medio di questi 3 CMJ sarà confrontato con il valore medio iniziale, il valore di baseline; da questo confronto dei valori si potranno dedurre i relativi miglioramenti e quanto questo protocollo di esercizio possa essere utile nella preparazione per gli sport combat-arti marziali.

Questa ipotesi di protocollo di lavoro può diventare uno studio sperimentale con l'aggiunta di un gruppo di controllo.

Conclusioni personali da parte del Dott. Roberto Bellotti

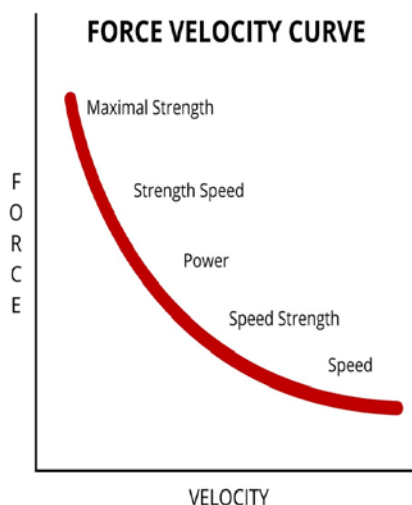
Il deadlift è un esercizio multiarticolare ottimo per il potenziamento corporeo sia della parte superiore che inferiore, specialmente per le catene cinetiche posteriori. Il deadlift è un esercizio eccellente per il miglioramento della postura sia in fase statica che dinamica, che rafforza le catene cinetiche muscolari posteriori e il core, quindi ottimo per contrastare e vincere le forze e le varie sollecitazioni motorie nei momenti di lotta e per attutire i colpi nelle tecniche di percossa negli sport di contatto dove si predilige lo striking ma anche nel trasferimento della potenza stessa sia nelle fasi di lotta, clinch, squilibri, nelle tecniche di percossa e nella resistenza fisica generale. Essendo stato un atleta di livello nazionale e internazionale nella muay thai, nella kickboxing e nella savate, consiglio, durante la periodizzazione annuale dell'allenamento, di effettuare fasi concentrate sull'allenamento della forza anche con esercizi multiarticolari lontano dalle gare e comunque di effettuare richiami per tutta l'annualità.

In conclusione, il deadlift è un esercizio che migliora le capacità di forza e di potenza non solo per gli atleti di muay thai, kickboxing e savate ma per tutti gli atleti degli sport da combattimento e arti marziali, sia quelli che prediligono le fasi di striking che le fasi di lotta e proiezioni. Per quanto riguarda il miglioramento in dettaglio della forza esplosiva e della reattività degli arti inferiori che può dare nel tempo l'esercizio del deadlift, prenderemo come riferimento i risultati dell'ipotesi di lavoro con il protocollo di esercizio di sei settimane, eventualmente con l'aggiunta di un gruppo di controllo per uno studio sperimentale.

DOTT. ROBERTO BELLOTTI, DOTTORE MAGISTRALE LM68 e LM67

LA FORZA

- **FORZA MUSCOLARE**
- **Capacità del sistema neuromuscolare di generare tensione**
- **Massimale** → quanta forza
- **Esplosiva (RFD)** → quanto velocemente
- **Resistente** → per quanto tempo
- *Continuum funzionale neurale-muscolare (Zatsiorsky et al., 2024)*



Bibliografia

- American College of Sport Medicine (2021). *ACSM.- Linee guida per la valutazione funzionale e la prescrizione dell'esercizio fisico* (Calzetti e Mariucci Editori, Ed.; Seconda Italiana). ISBN: 978-8860286420
- American College of Sport Medicine. (2025). *ACSM - Linee guida per la valutazione funzionale e la prescrizione dell'esercizio fisico* (Calzetti e Mariucci Editori, Ed.; Terza Italiana). ISBN: 978-8860287304
- Arias, J., Coburn, J., Brown, L., & Galpin, A. (2016). The Acute Effects of Heavy Deadlifts on Vertical Jump Performance in Men. *Sports*, 4(2), 22. <https://doi.org/10.3390/sports4020022>
- Baechle TR e Earle RW. (2010). *Manuale di condizionamento fisico e di allenamento della forza* (Calzetti e Mariucci Editori, Ed.; Prima Italiana). ISBN: 978-8860282187
- Barnes, M. J., Miller, A., Reeve, D., & Stewart, R. J. C. (2019). Acute Neuromuscular and Endocrine Responses to Two Different Compound Exercises: Squat vs. Deadlift. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 33(9), 2381–2387. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002140>
- Bosco, C., Luhtanen, P., & Komi, P. V. (1983). A simple method for measurement of mechanical power in jumping. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 50(2), 273–282. <https://doi.org/10.1007/BF00422166>
- Bull, F. C., Al-Ansari, S. S., Biddle, S., Borodulin, K., Buman, M. P., Cardon, G., Carty, C., Chaput, J.-P., Chastin, S., Chou, R., Dempsey, P. C., DiPietro, L., Ekelund, U., Firth, J., Friedenreich, C. M., Garcia, L., Gichu, M., Jago, R., Katzmarzyk, P. T., ... Willumsen, J. F. (2020). World Health Organization 2020 guidelines on physical activity and sedentary behaviour. *British Journal of Sports Medicine*, 54(24), 1451–1462. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2020-102955>
- Calavalle, A. R., Sisti, D., Rocchi, M. B. L., Panebianco, R., Del Sal, M., & Stocchi, V. (2008). Postural trials: expertise in rhythmic gymnastics increases control in lateral directions. *European Journal of Applied Physiology*, 104(4), 643–649. <https://doi.org/10.1007/s00421-008-0815-6>
- Crewther, B. T., Cook, C., Cardinale, M., Weatherby, R. P., & Lowe, T. (2011). Two Emerging Concepts for Elite Athletes. *Sports Medicine*, 41(2), 103–123. <https://doi.org/10.2165/11539170-000000000-00000>
- Cruz-Jentoft, A. J., Bahat, G., Bauer, J., Boirie, Y., Bruyère, O., Cederholm, T., Cooper, C., Landi, F., Rolland, Y., Sayer, A. A., Schneider, S. M., Sieber, C. C., Topinkova, E., Vandewoude, M., Visser, M., Zamboni, M., Bautmans, I., Baeyens, J.-P., Cesari, M., ... Schols, J. (2019). Sarcopenia: revised European consensus on definition and diagnosis. *Age and Ageing*, 48(1), 16–31. <https://doi.org/10.1093/ageing/afy169>

- Ebben, W. P., & Petushek, E. J. (2010). Using the Reactive Strength Index Modified to Evaluate Plyometric Performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(8), 1983–1987. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181e72466>
- ENOKA, R. M., & DUCHATEAU, J. (2016). Translating Fatigue to Human Performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 48(11), 2228–2238. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000929>
- Faigenbaum, A. D., & Myer, G. D. (2010). Resistance training among young athletes: safety, efficacy and injury prevention effects. *British Journal of Sports Medicine*, 44(1), 56–63. <https://doi.org/10.1136/bjsm.2009.068098>
- Farrar, J. T., Young, J. P., LaMoreaux, L., Werth, J. L., & Poole, M. R. (2001). Clinical importance of changes in chronic pain intensity measured on an 11-point numerical pain rating scale. *Pain*, 94(2), 149–158. [https://doi.org/10.1016/S0304-3959\(01\)00349-9](https://doi.org/10.1016/S0304-3959(01)00349-9)
- Gathercole, R. J., Sporer, B. C., Stellingwerff, T., & Sleivert, G. G. (2015). Comparison of the Capacity of Different Jump and Sprint Field Tests to Detect Neuromuscular Fatigue. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29(9), 2522–2531. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000912>
- Gathercole, R. J., Stellingwerff, T., & Sporer, B. C. (2015). Effect of Acute Fatigue and Training Adaptation on Countermovement Jump Performance in Elite Snowboard Cross Athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29(1), 37–46. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000622>
- Gathercole, R., Sporer, B., Stellingwerff, T., & Sleivert, G. (2015). Alternative Countermovement-Jump Analysis to Quantify Acute Neuromuscular Fatigue. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 10(1), 84–92. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2013-0413>
- González-Galán, J., Herrera-Bermudo, J. C., González-Badillo, J. J., & Rodríguez-Rosell, D. (2024). Validity and Concordance of a Linear Position Transducer (Vitrue) for Measuring Movement Velocity during Resistance Training. *Sensors*, 24(19), 6444. <https://doi.org/10.3390/s24196444>
- Gordon, B. R., McDowell, C. P., Hallgren, M., Meyer, J. D., Lyons, M., & Herring, M. P. (2018). Association of Efficacy of Resistance Exercise Training With Depressive Symptoms. *JAMA Psychiatry*, 75(6), 566. <https://doi.org/10.1001/jamapsychiatry.2018.0572>
- Hawker, G. A., Mian, S., Kendzerska, T., & French, M. (2011). Measures of adult pain: Visual Analog Scale for Pain (VAS Pain), Numeric Rating Scale for Pain (NRS Pain), McGill Pain Questionnaire (MPQ), Short-Form McGill Pain Questionnaire (SF-MPQ), Chronic Pain Grade Scale (CPGS), Short Form-36 Bodily Pain Scale (SF-36 BPS), and Measure of Intermittent and Constant Osteoarthritis Pain (ICOAP). *Arthritis Care & Research*, 63(S11). <https://doi.org/10.1002/acr.20543>

- Jensen, M. P., Karoly, P., & Braver, S. (1986). The measurement of clinical pain intensity: a comparison of six methods. *Pain*, 27(1), 117–126. [https://doi.org/10.1016/0304-3959\(86\)90228-9](https://doi.org/10.1016/0304-3959(86)90228-9)
- Jensen, M. P., Karoly, P., O’Riordan, E. F., Bland, F., & Burns, R. S. (1989). The Subjective Experience of Acute Pain An Assessment of the Utility of 10 Indices. *The Clinical Journal of Pain*, 5(2), 153–160. <https://doi.org/10.1097/00002508-198906000-00005>
- Jensen, M. P., & McFarland, C. A. (1993). Increasing the reliability and validity of pain intensity measurement in chronic pain patients. *Pain*, 55(2), 195–203. [https://doi.org/10.1016/0304-3959\(93\)90148-I](https://doi.org/10.1016/0304-3959(93)90148-I)
- Kotikangas, J., Walker, S., Häkkinen, K., & Peltonen, H. (2025). Acute neuromuscular fatigue, hormonal responses, and recovery in males during high-volume resistance exercises: Smith machine back squat vs horizontal leg press. *European Journal of Applied Physiology*, 125(10), 2921–2938. <https://doi.org/10.1007/s00421-025-05793-3>
- Kubo, K., Ishigaki, T., & Ikebukuro, T. (2017). Effects of plyometric and isometric training on muscle and tendon stiffness in vivo. *Physiological Reports*, 5(15), e13374. <https://doi.org/10.14814/phy2.13374>
- Langley, G. B., & Sheppeard, H. (1985). The visual analogue scale: Its use in pain measurement. *Rheumatology International*, 5(4), 145–148. <https://doi.org/10.1007/BF00541514>
- Leyva WD, A. D. M. C. G. A. C. J. and B. LE. (2016). Comparison of Deadlift Versus Back Squatpostactivation Potentiation Onvertical Jump. *Gavin J Orthop Res Ther*, 2016, 6–10.
- Machado, Á. S., da Silva, W., Priego-Quesada, J. I., & Carpes, F. P. (2023). Can infrared thermography serve as an alternative to assess cumulative fatigue in women? *Journal of Thermal Biology*, 115, 103612. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2023.103612>
- Mitchell, W. K., Williams, J., Atherton, P., Larvin, M., Lund, J., & Narici, M. (2012). Sarcopenia, Dynapenia, and the Impact of Advancing Age on Human Skeletal Muscle Size and Strength; a Quantitative Review. *Frontiers in Physiology*, 3. <https://doi.org/10.3389/fphys.2012.00260>
- Mo, R. C. Y., Ngai, D. C. W., Ng, C. C. M., Sin, K. H. S., Luk, J. T. C., & Ho, I. M. K. (2023). Effects of loading positions on the activation of trunk and hip muscles during flywheel and dumbbell single-leg Romanian deadlift exercises. *Frontiers in Physiology*, 14. <https://doi.org/10.3389/fphys.2023.1264604>
- Moritani, T., & deVries, H. A. (1979). Neural factors versus hypertrophy in the time course of muscle strength gain. *American Journal of Physical Medicine*, 58(3), 115–130.
- Nigro, F., & Bartolomei, S. (2020). A Comparison Between the Squat and the Deadlift for Lower Body Strength and Power Training. *Journal of Human Kinetics*, 73(1), 145–152. <https://doi.org/10.2478/hukin-2019-0139>

- Pareja-Blanco, F., Rodríguez-Rosell, D., Sánchez-Medina, L., Ribas-Serna, J., López-López, C., Mora-Custodio, R., Yáñez-García, J. M., & González-Badillo, J. J. (2017). Acute and delayed response to resistance exercise leading or not leading to muscle failure. *Clinical Physiology and Functional Imaging*, 37(6), 630–639. <https://doi.org/10.1111/cpf.12348>
- Pérez-Castilla, A., Piepoli, A., Delgado-García, G., Garrido-Blanca, G., & García-Ramos, A. (2019). Reliability and Concurrent Validity of Seven Commercially Available Devices for the Assessment of Movement Velocity at Different Intensities During the Bench Press. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 33(5), 1258–1265. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003118>
- Peterson, M. D., Rhea, M. R., Sen, A., & Gordon, P. M. (2010). Resistance exercise for muscular strength in older adults: A meta-analysis. *Ageing Research Reviews*, 9(3), 226–237. <https://doi.org/10.1016/j.arr.2010.03.004>
- PHILLIPS, M. D., FLYNN, M. G., MCFARLIN, B. K., STEWART, L. K., & TIMMERMAN, K. L. (2010). Resistance Training at Eight-Repetition Maximum Reduces the Inflammatory Milieu in Elderly Women. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 42(2), 314–325. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181b11ab7>
- Proske, U., & Morgan, D. L. (2001). Muscle damage from eccentric exercise: mechanism, mechanical signs, adaptation and clinical applications. *The Journal of Physiology*, 537(2), 333–345. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7793.2001.00333.x>
- Rodriguez, C. S. (2001). Pain measurement in the elderly: A review. *Pain Management Nursing*, 2(2), 38–46. <https://doi.org/10.1053/jpmn.2001.23746>
- Romero-Moraleda, B., La Touche, R., Lerma-Lara, S., Ferrer-Peña, R., Paredes, V., Peinado, A. B., & Muñoz-García, D. (2017). Neurodynamic mobilization and foam rolling improved delayed-onset muscle soreness in a healthy adult population: a randomized controlled clinical trial. *PeerJ*, 5, e3908. <https://doi.org/10.7717/peerj.3908>
- Ruiz-Alias, S. A., Şentürk, D., Akyildiz, Z., Çetin, O., Kaya, S., Pérez-Castilla, A., & Jukic, I. (2024). Validity and reliability of velocity and power measures provided by the Vitruve linear position transducer. *PLOS ONE*, 19(10), e0312348. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0312348>
- Sanchez-Medina, L., Perez, C. E., & Gonzalez-Badillo, J. J. (2010). Importance of the Propulsive Phase in Strength Assessment. *International Journal of Sports Medicine*, 31(02), 123–129. <https://doi.org/10.1055/s-0029-1242815>
- 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. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181e840f3>
- SCHOENFELD, B. J., CONTRERAS, B., KRIEGER, J., GRGIC, J., DELCASTILLO, K., BELLARD, R., & ALTO, A. (2019). Resistance Training Volume Enhances Muscle

Hypertrophy but Not Strength in Trained Men. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 51(1), 94–103. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000001764>

Skala, F., & Zemková, E. (2023). Neuromuscular and perceptual-cognitive response to 4v4 small-sided game in youth soccer players. *Frontiers in Physiology*, 14. <https://doi.org/10.3389/fphys.2023.1260096>

Spencer, R., Sindall, P., Hammond, K. M., Atkins, S. J., Quinn, M., & McMahon, J. J. (2023). Changes in Body Mass and Movement Strategy Maintain Jump Height Immediately after Soccer Match. *Applied Sciences*, 13(12), 7188. <https://doi.org/10.3390/app13127188>

Weakley, J., Mann, B., Banyard, H., McLaren, S., Scott, T., & Garcia-Ramos, A. (2021). Velocity-Based Training: From Theory to Application. *Strength & Conditioning Journal*, 43(2), 31–49. <https://doi.org/10.1519/SSC.0000000000000560>

Westcott, W. L. (2012). Resistance Training is Medicine. *Current Sports Medicine Reports*, 11(4), 209–216. <https://doi.org/10.1249/JSR.0b013e31825dabb8>

World Medical Association Declaration of Helsinki. (2013). *JAMA*, 310(20), 2191. <https://doi.org/10.1001/jama.2013.281053>

Yoshida, N., Hornsby, W. G., Sole, C. J., Sato, K., & Stone, M. H. (2024). Effect of Neuromuscular Fatigue on the Countermovement Jump Characteristics: Basketball-Related High-Intensity Exercises. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 38(1), 164–173. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000004610>

Zatsiorsky VM, Kraemer WJ, & Fry AC. (2024). *Allenamento della Forza: Scienza e Pratica* (Calzetti e Mariucci Editori, Ed.; Seconda Italiana). ISBN: 978-8860287014

Desidero esprimere la mia più sincera e sentita gratitudine alla Prof.ssa Luciana Vallorani, al Prof. Marco Gervasi e al Dott. Eugenio Formiglio per la loro gentilezza, disponibilità e il grande aiuto che mi hanno dato per il percorso e la stesura dell'elaborato della mia tesi di laurea. Porterò sempre con me i preziosi insegnamenti e il bagaglio culturale che mi hanno trasmesso.