

INDICE

INTRODUZIONE	2
MOTIVAZIONE PERSONALE NELLA SCELTA DELL'ARGOMENTO	4
OBIETTIVI DELLA TESI	5
MATERIALI E METODI	6
APPORTO TEORICO	8
APPARATO SCHELETRICO E TESSUTO OSSEO	8
EFFETTI DELL'INVECCHIAMENTO SULL'APPARATO MUSCOLOSCHIELETRICO	10
INFLUENZA ENDOCRINA SULLA MASSA OSSEA DOPO LA MENOPAUSA	13
OSTEOPENIA	14
OSTEOPOROSI.....	15
ANALISI DEGLI STUDI	18
ACCRESIMENTO OSSEO NELLA POPOLAZIONE PEDIATRICA	18
CARICO MECCANICO.....	20
IL RUOLO DELLA COMPOSIZIONE CORPOREA	21
ESERCIZIO FISICO PER AUMENTO DELLA MINERALIZZAZIONE OSSEA NELLA POPOLAZIONE PEDIATRICA.....	22
RISULTATI SUGLI ESITI STRUTTURALI OSSEI NELLA POPOLAZIONE PEDIATRICA	30
ATTIVITÀ FISICA COME STRUMENTO PREVENTIVO NELLE DONNE	35
ATTIVITA' FISICA SUL MANTENIMENTO DELLA MASSA OSSEA DOPO LA MENOPAUSA.....	38
PREVENZIONE E TRATTAMENTO DELL'OSTEOPOROSI NEGLI ANZIANI	42
IL MONDO TRA DUE PANDEMIE: COVID-19 E INATTIVITÀ FISICA.....	48
DISCUSSIONE	51
CONCLUSIONI	55
BIBLIOGRAFIA	56

ABSTRACT

L'intento di questa revisione della letteratura è quello di poter determinare in base a quanto emerso dagli articoli analizzati il genere di esercizio fisico, la posologia, il contesto più efficace per poter agire sull'osteoporosi e sulla sua prevenzione.

Per poter valutare quale sia l'approccio riguardante l'esercizio fisico preferibile tra quelli proposti negli studi consideriamo come outcome primario la densità minerale ossea e come outcome secondario parametri inerenti alla prevenzione delle cadute.

Sono state quindi analizzate le più recenti revisioni della letteratura attraverso ricerca nelle principali banche dati online (Pubmed, Pedro) attraverso parole chiave come BMD, osteoporosis AND physical activity, exercise AND osteoporosis, prevention osteoporosis, exercise AND BMD.

Sono state prese in esame tre diverse popolazioni: pediatrica, donne in pre e post-menopausa, anziani.

Dagli studi analizzati è emerso che il miglioramento maggiore della BMD, in tutte e tre le popolazioni, è stato riscontrato effettuando protocolli che comprendevano allenamento contro resistenza, ad alta intensità e ad alto impatto. Variabili come la frequenza, l'intensità e la durata sono decisivi per l'efficacia del protocollo.

INTRODUZIONE

Lo scopo di questo studio è valutare l'efficacia dell'esercizio fisico come strategia di prevenzione e terapia complementare per l'osteoporosi, tramite la revisione della letteratura scientifica degli ultimi studi in merito.

A tal proposito sono state prese in considerazione le ultime revisioni che hanno affrontato questo argomento attraverso criteri di inclusione ed esclusione che verranno specificati in seguito.

L'osteopenia risulta frequente nella popolazione, colpendo maggiormente anziani e donne in periodo post-menopausale; una delle conseguenze maggiori di questa patologia sono le fratture successive ad eventuali cadute.

La qualità di vita delle persone colpite si abbassa in modo considerevole: una frattura infatti può comportare una disabilità a lungo termine, accompagnata da costi sociali molto alti. Secondo l'Organizzazione Mondiale della Sanità l'osteoporosi è la decima malattia cronica più diffusa nel mondo colpendo centinaia di migliaia di persone solo in Italia e interessando più di 75 milioni di persone tra Stati Uniti, Europa e Giappone (Gualano MR, Sferrazza A, Cadeddu C, de Waure C, La Torre G, Ricciardi W. *Epidemiologia dell'osteoporosi post-menopausale nel mondo e in Italia. Italian Journal of Public Health*, 2011, 8(2), Suppl. 2, capitolo 1, S3-S22)

Secondo il documento "Una strategia di intervento per l'osteoporosi" approvato con accordo Stato-Regioni 10 maggio 2018, n.105 nel corso della vita, circa il 40% della popolazione italiana incorre in una frattura di femore, di vertebra o di polso, nella maggioranza dei casi dopo i 65 anni, con rilevanti costi sociali ed economici.

L'esercizio fisico, studiato appositamente per questa tipologia di soggetti, ha ottenuto grandi risultati nella prevenzione di fratture aumentando la loro qualità di vita, riducendo mortalità e riducendo gli alti costi sanitari e sociali.

Il periodo storico che si sta vivendo attualmente, segnato dalla pandemia COVID-19, ha portato a misure di prevenzione straordinarie: per evitare che il numero di persone contagiate, e di conseguenza di vittime, diventasse insostenibile a livello sanitario e umano, si è ricorso alla quarantena obbligatoria per la popolazione, soprattutto nel mondo occidentale, in quasi tutto il mondo. Questa misura si è rivelata un'arma a doppio taglio:

per un bene superiore e collettivo, si è dovuto sacrificare molto della quotidianità delle persone, soprattutto quelle più fragili.

In questo periodo di “limbo”, alcune persone hanno cercato di organizzarsi per continuare a svolgere un minimo di esercizio fisico giornaliero, mentre altre hanno avuto maggiori difficoltà nel mantenere questa buona abitudine, spesso, rinunciandone.

Quando e in che misura si manifesteranno, se non già presenti, gli effetti negativi dell’inattività fisica prolungata, conseguenza di questo straordinario periodo storico, nella popolazione più fragile e più soggetta a malattie croniche?

MOTIVAZIONE PERSONALE NELLA SCELTA DELL’ARGOMENTO

Questo argomento mi sta particolarmente a cuore perché ho sempre ritenuto il movimento una parte essenziale ed imprescindibile per la vita umana. Durante le esperienze di tirocinio ho rafforzato in me la convinzione che l’esercizio fisico fosse una componente essenziale della professione di Fisioterapista. Proprio per questo motivo, per il lavoro di Tesi, ho voluto approfondire l’efficacia di questo intervento sulle persone con bassa mineralizzazione ossea.

L’uomo moderno, e ancor di più l’uomo contemporaneo, ha escogitato in maniera vincente strategie per ridurre al minimo gli sforzi e l’attività fisica dalla propria vita quotidiana.

La ricerca scientifica, il progresso, la tecnologia medica hanno portato ad eccellenti risultati in termini di cura di determinate patologie croniche o meno, concentrandosi su una terapia passiva sempre più performante nella cura, togliendo, apparentemente, il bisogno di una valida prevenzione basata su un sano stile di vita attivo.

È ormai scientificamente noto che l’assenza di attività fisica è uno dei fattori che maggiormente incidono sulla qualità della vita e sull’insorgenza di malattie.

L’attività fisica, quindi, è riconosciuta come requisito indispensabile per migliorare la propria salute e di conseguenza anche la durata, in salute, della propria vita nonché come fattore di prevenzione primaria nel contrastare o rallentare l’insorgenza di tante patologie.

Secondo le proiezioni sulla popolazione americana dell’US Census Bureau, i soggetti over 85 nel 2030 saranno il 133% in più rispetto al 1996. Questo cambiamento non inciderà solo

a livello di età media, ma anche su una maggiore rappresentanza di persone soggette a disabilità e non autonome. A tal proposito ho voluto approfondire la prevenzione dell'osteoporosi, una delle patologie maggiormente rappresentate nella popolazione anziana, spesso causa di riduzione della qualità di vita e, nei casi più gravi, aumento della disabilità con ricoveri a lungo termine.

Avranno quindi un ruolo di grande importanza tutte le strategie preventive e curative, che possano aumentare l'indipendenza del soggetto come, per esempio, cercare di ridurre l'impatto dell'invecchiamento sull'apparato muscoloscheletrico, riducendo gravi complicanze come sarcopenia e osteopenia.

OBIETTIVI DELLA TESI

L'obiettivo di questa Tesi, attraverso la revisione narrativa degli studi scientifici, è quello di comprendere, allo stato attuale, i giusti esercizi e la giusta posologia per avere i migliori benefici.

Il focus verrà posto su revisioni riguardanti l'attività come strumento preventivo e di trattamento per i soggetti con osteoporosi. Il BMD¹, ovvero la densità minerale ossea, e fattori correlati saranno gli outcome per giudicare l'efficacia o meno delle metodiche di trattamento.

L'età media della popolazione, anche grazie alle nuove tecnologie e scoperte scientifiche, sta aumentando considerevolmente. Con essa dovrebbe aumentare anche la durata di una buona qualità di vita, che però non sta seguendo il passo.

Nonostante la popolazione tutta sia ormai a conoscenza di come uno stile di vita attivo, che comprenda esercizio fisico regolare e costante, possa essere preventivo per molte delle problematiche legate all'invecchiamento e non solo, la maggior parte di essa non è in grado di cogliere il grandissimo potenziale intrinseco all'attività fisica e motoria.

Si potrebbe auspicare che l'attività motoria in futuro diventi un mezzo di prevenzione primaria, aumentando la qualità di vita generale ed evitando l'innalzarsi dei costi sociali.

1 L'argomento verrà approfondito successivamente.

MATERIALI E METODI

Per la redazione di questo lavoro verrà utilizzato il modello di ricerca P.I.C.O., che per schematicità e semplicità nella sua applicazione ben si presta a questo tipo di studio.

La “P” sta per popolazione o problema che si prende in esame, nel nostro caso l’osteoporosi e la popolazione osteoporotica e popolazione predisposta.

La “I” sta per intervento e definisce il tipo di provvedimento sanitario applicato al campione in analisi. Nel nostro caso diverse tipologie e protocolli di esercizio fisico.

La “C” sta per confronto ed indica il tipo di intervento tra il campione “I” e il campione “non I”.

La “O” sta per outcome e determina gli end-point clinici e non solo che si vogliono misurare e valutare. In questo lavoro verrà preso in considerazione come *outcome* primario la densità minerale ossea (BMD), la frequenza delle fratture, incremento della forza muscolare, la performance fisica ed il rischio di cadute.

Per lo svolgimento del lavoro sono stati utilizzati banche dati di letteratura scientifica biomedica (PubMed e PEDro) dove è stato reperito il materiale e gli studi che hanno garantito la massima comprensione e il miglior apporto teorico sull’argomento trattato.

Le parole chiave e gli operatori booleani per effettuare la ricerca, dopo un’attenta analisi, sono state:

BMD; osteoporosis AND physical activity; exercise AND osteoporosis; prevention osteoporosis; exercise AND BMD.

Sono inoltre stati adottati alcuni criteri di inclusione ed esclusione per garantire la qualità del lavoro; a tal proposito, per garantire una maggiore qualità, la scelta è ricaduta sulle revisioni sistematiche e narrative perché altamente referenziate e già comprensive di numerosi studi riguardanti l’argomento. A questo punto sono stati sfruttati i criteri di inclusione ed esclusioni impostabili nelle banche dati come l’anno di pubblicazione non antecedente al 2000, la presenza di full text e la tipologia dello studio (revisione e articoli).

Dai risultati ottenuti e previa lettura, sono state selezionate tre revisioni con full text - accessibile, redatte nel 2005, 2010 e 2016.

La popolazione presa in esame è stata divisa in tre macro-gruppi con diverse esigenze ma con affinità per quanto riguarda l’osteoporosi: età pediatrica, donne in pre e post-menopausa e anziani.

Inizialmente si affronterà la fisiologia dell'apparato muscolo-scheletrico e i cambiamenti che l'invecchiamento apporta al tessuto osseo e muscolare. Verrà inoltre effettuato un focus sulle particolari condizioni endocrine che si manifestano nella donna in post-menopausa rendendo questo tipo di popolazione più a rischio di sviluppare patologie muscolo-scheletriche: sarcopenia, osteopenia e osteoporosi. Queste verranno trattate nell'ultima parte del lavoro come condizioni patologiche presenti nella popolazione anziana.

Successivamente si procederà alla revisione narrativa degli studi finora disponibili sui metodi più efficaci di prevenzione per rallentare la demineralizzazione dell'osso e migliorarne la BMD: attività ed esercizio fisico.

Una piccola digressione verrà effettuata per trattare gli effetti della pandemia da Covid-19 sulla salute della popolazione e su come, la mancanza di movimento, dovuta all'isolamento e alle ripetute quarantene, potrebbe avere effetti dannosi a breve e lungo termine. Si punterà quindi l'attenzione sull'esercizio preventivo prendendo in considerazione revisioni narrative di studi effettuati su diverse fasce di età: età pediatrica, donne in pre e post-menopausa e anziani.

APPORTO TEORICO

APPARATO SCHELETRICO E TESSUTO OSSEO

Il tessuto osseo è un particolare tipo di tessuto connettivo, definito di sostegno, in quanto tramite l'articolazione delle varie ossa va a formare lo scheletro, struttura atta alla protezione degli organi e di sostegno del corpo tutto.

Il tessuto osseo è formato da una particolare sostanza intercellulare, molto mineralizzata che riesce a donargli capacità di notevole resistenza alla pressione e resistenza alla flessione entro certi limiti; superando tali limiti si va incontro a frattura.

Le ossa, immagazzinando una grande quantità di calcio al loro interno, partecipano all'omeostasi dell'organismo, fornendolo quando necessario.

Questo tessuto, proprio tramite questi processi, è estremamente dinamico: varia sia in base alle condizioni metaboliche sia per rispondere al meglio alle forze che gravano su di esso. La riduzione del tessuto osseo prende il nome di rimaneggiamento.

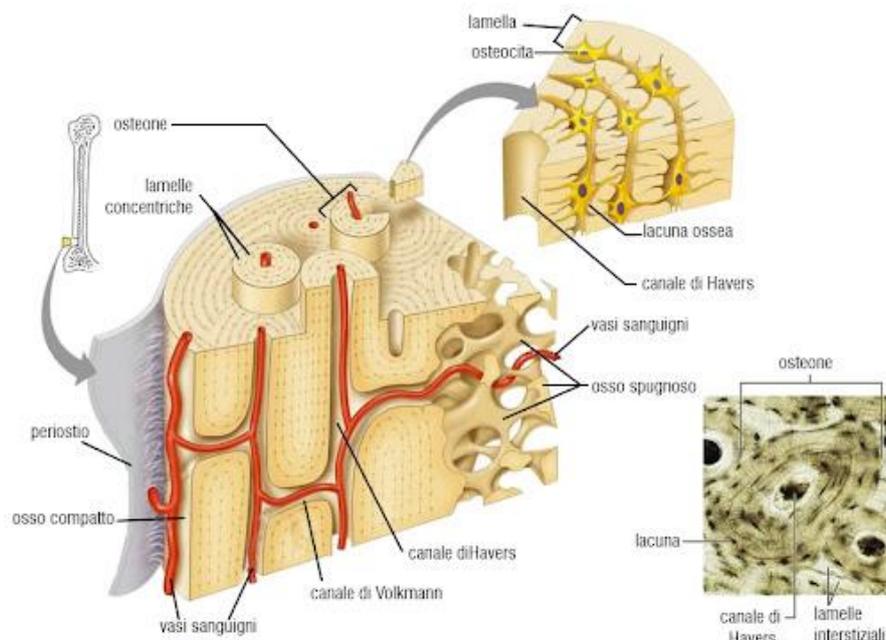


Figura 1- Composizione del tessuto osseo

La componente cellulare del tessuto osseo è rappresentata da tre particolari tipi di cellule, ognuna con carattere e funzione specifica.

Gli osteoblasti sono cellule che, attraverso il rilascio di specifiche vescicole, vanno ad intervenire sulla produzione della matrice glicoproteica, proteoglicanica amorfa, e sulle fibre di collagene; sono inoltre protagonisti del processo di mineralizzazione, ovvero il controllo e la regolazione dei processi di deposizione dei sali minerali. Gli osteoblasti hanno inoltre specifici recettori per la vitamina D, per gli estrogeni e per il paratormone.

Una volta terminato il processo di mineralizzazione, alcuni osteoblasti si differenziano in osteociti, cellule da cui dipartono numerosi prolungamenti, che tramite giunzioni comunicanti formano una rete per reciproci scambi metabolici.

Gli osteociti, tramite un meccanosensore, riescono a percepire i cambi di pressione all'interno dell'osso e reagire di conseguenza: quando vi è un carico che crea una pressione, producono fattori che inibiscono gli osteoclasti, favorendo la deposizione dei sali minerali; al contrario, quando non vi sono carichi che premono sullo scheletro, gli osteociti producono fattori che promuovono la formazione di nuovi e attivi osteoclasti, favorendo il riassorbimento dell'osso.

Gli osteoclasti, al contrario degli osteoblasti, sono protagonisti dei processi di riassorbimento dell'osso, formando le lacune di riassorbimento, o di Howship.

Questo processo avviene in due fasi: la prima prevede l'eliminazione dei sali minerali di idrossiapatite, la seconda l'erosione della sostanza organica proteica della matrice ossea.

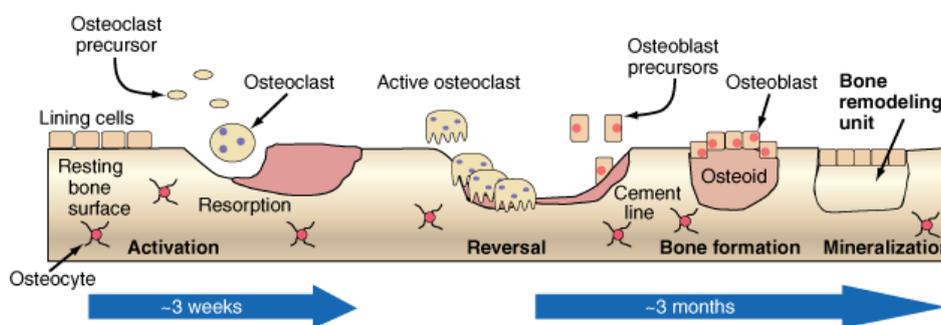


Figura 2 – Processo di rimodellamento osseo

EFFETTI DELL'INVECCHIAMENTO SULL'APPARATO MUSCOLOSCHIELETRICO

Gli effetti dell'invecchiamento sull'apparato muscolo-scheletrico si manifestano con carenze riscontrabili nelle sue due componenti principali: la massa muscolare (sarcopenia) e la massa ossea (osteopenia). Le due patologie sono strettamente correlate e si influenzano a vicenda; proprio per questo motivo mi sembrava doveroso, affrontando il tema dell'osteoporosi, andare ad indagare anche la controparte muscolare.

In "Aging Skeletal Muscle: Physiologic Changes and the Effects of Training" pubblicato in *Physical Therapy*, Volume 82, nel 2002², gli autori hanno analizzato i cambiamenti fisiologici dell'invecchiamento sull'apparato muscolo-scheletrico, riportando i risultati delle più recenti ricerche scientifiche sull'argomento.

L'invecchiamento muscolare induce una carenza sempre maggiore della forza, e quindi della possibilità di svolgere alcune delle principali attività della vita quotidiana. Le più recenti ricerche suggeriscono che questo fattore sia la risposta ad un'atrofia muscolare diffusa con alterazione nella percentuale di tessuto contrattile all'interno del muscolo, e non, come si credeva, del reclutamento e scaricamento dell'unità motoria (MU).

La sarcopenia viene definita come una sindrome da deperimento muscolare caratterizzata da perdita degenerativa progressiva e generalizzata della massa muscolare scheletrica, della qualità e della forza che si verifica durante il normale processo di invecchiamento (Wiedmer et al. 2021).

L'EWGSOP, gruppo europeo di lavoro sulla sarcopenia nella popolazione geriatrica, riconosce due criteri per la diagnosi clinica della sarcopenia: funzione muscolare ridotta (spesso accompagnata da una forza muscolare minore) e diminuzione del volume muscolare. Successivamente, nel 2019, lo stesso ente ha puntato maggiormente l'attenzione sulla forza come elemento diagnostico, non considerando così la massa muscolare.

Il tentativo di classificazione della sarcopenia si è rivelato poco funzionale. Sono riconoscibili due tipi di sarcopenia: primaria, ovvero avente come causa il solo invecchiamento; secondaria, riconducibile ad altri eventi (malattie, traumi).

² Glenn N Williams, Michael J Higgins, Michael D Lewek, Aging Skeletal Muscle: Physiologic Changes and the Effects of Training, *Physical Therapy*, Volume 82, Issue 1, 1 January 2002, Pages 62–68.

Tuttavia, la distinzione tra sarcopenia primaria e secondaria spesso non è così evidente poiché nella popolazione geriatrica spesso le cause sono sovrapposte e confuse, non permettendo una vera distinzione. Da qui, la definizione attuale, di sindrome geriatrica multiforme.

L'articolo riporta gli effetti dell'invecchiamento sul tessuto muscolare, prendendo in esame i vari componenti con le proprie modificazioni fisiologiche.

L'alterazione in negativo della produzione della forza nella popolazione geriatrico è da imputare al risultato di una atrofia muscolare e alterazione nella percentuale di tessuto contrattile all'interno del muscolo, meno al deficit di attivazione muscolare. Sembra perciò focalizzarsi maggiormente alla composizione del tessuto contrattile piuttosto che alla sua componente nervosa. Sebbene vi sia una riduzione della dimensione delle singole fibre, le ricerche suggeriscono che il principale protagonista della sarcopenia (riduzione del tessuto contrattile) sia una riduzione del numero totale delle fibre contrattili all'interno del muscolo. Quest'ultime, successivamente, vengono sostituite da tessuto non contrattile come tessuto adiposo e connettivo, determinando una riduzione della capacità di produzione della forza.

Le fibre di tipo due, quelle a contrazione veloce, sembrano essere maggiormente coinvolte nell'atrofia, risparmiando la controparte a contrazione lenta. Questo non avviene però nel numero delle fibre, dove entrambe vanno incontro ad una riduzione nel numero.

Con l'avanzare dell'età anche i motoneuroni alpha diminuiscono, portando quindi a una diminuzione del numero delle unità motorie. Si è visto come le fibre muscolari che hanno perso il motoneurone correlato, siano state re-innervate da una unità motoria già esistente, attraverso la germinazione collaterale.

Questo tipo di processo aumenta le variabili in gioco nell'attivazione del tessuto contrattile, compromettendone la sua efficienza; i ricercatori hanno quindi suggerito come possa essere una delle componenti della riduzione della forza espressa.

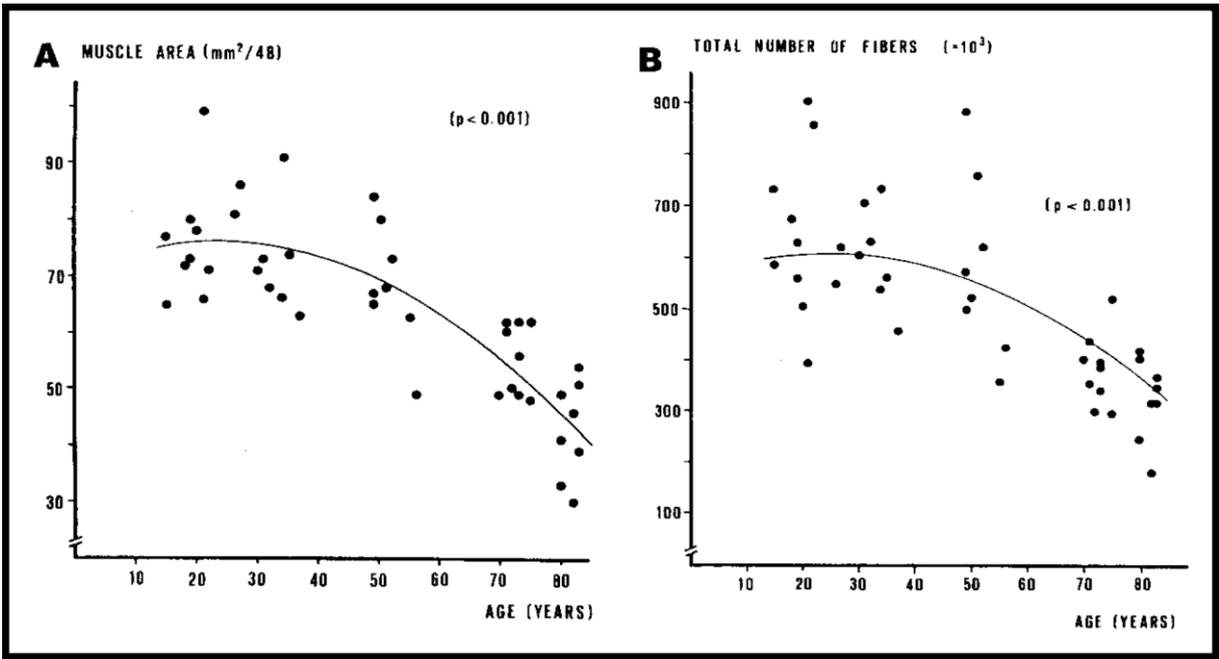


Figure 3 - Figure 1. The relationship between age and (A) muscle cross-sectional area and (B) the total number of muscle fibers.

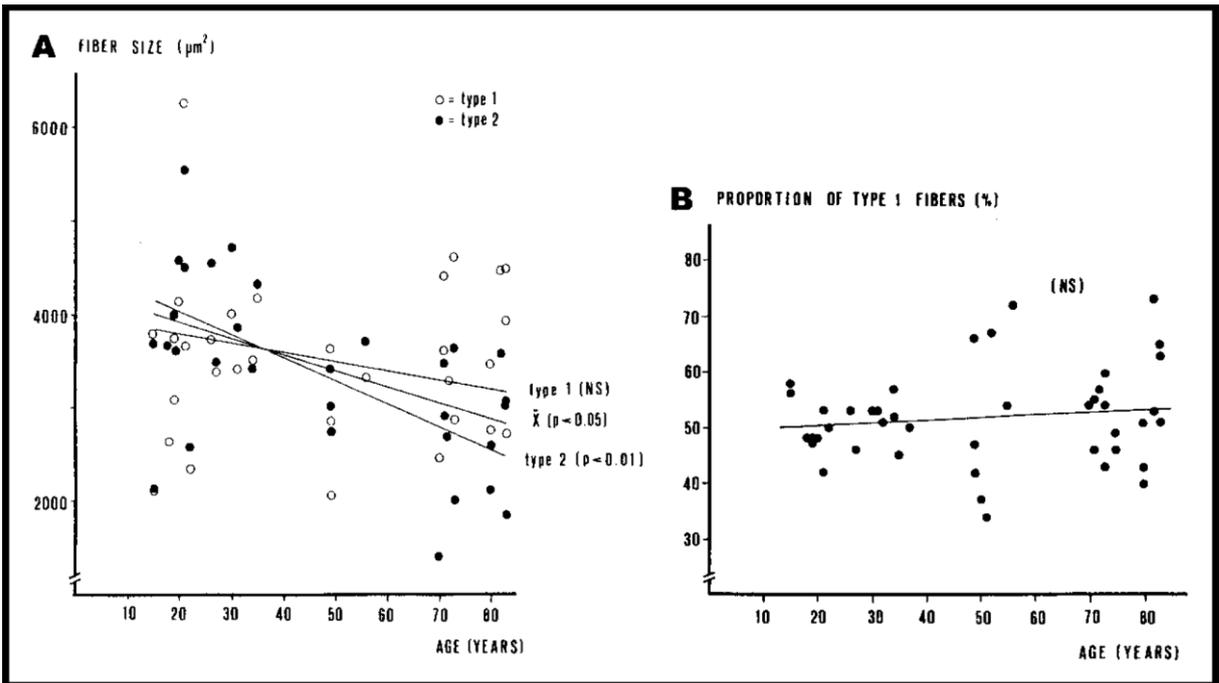


Figure 4 - The effect of aging on (A) type I fiber, type II fiber, and mean fiber size, and (B) the proportion of type I fibers in human vastus lateralis muscle

INFLUENZA ENDOCRINA SULLA MASSA OSSEA DOPO LA MENOPAUSA

Nella revisione di Borer del 2005³ (K.T. Physical Activity in the Prevention and Amelioration of Osteoporosis in Women. *Sports Med* 35, 779–830, 2005) viene trattato ampiamente l'interazione degli ormoni nella densità minerale ossea.

Gli ormoni GH, IGF-1, T3 e leptina svolgono un ruolo molto importante nella crescita ossea. Questi raggiungono il picco durante la pubertà per poi diminuire la loro secrezione con l'aumento dell'età. La produzione di GH diminuisce del 50% ogni 7 anni: essa è influenzata anche da fattori indiretti come per esempio la sarcopenia, entrambe correlate all'eziologia dell'osteoporosi negli anziani.

In età adulta si può trovare una proporzionalità diretta significativa tra IGF circolante e livelli di BMD in entrambi i sessi ma la relazione è più evidente nelle donne in post-menopausa.

Questi ormoni sia in età adolescenziale sia nei primi anni dell'età adulta sono influenzati anche dallo stato nutrizionale della donna; infatti, un bilancio energetico positivo induce una stimolazione del GH che a sua volta stimola la secrezione epatica di IGF-1 che concorrono al mantenimento della normale T3 e ad alte concentrazioni di leptina. Tutto ciò ha effetti benefici sull'osso. Al contrario durante la restrizione energetica gli ormoni hanno una stimolazione minore creando un'influenza dannosa per la massa ossea.

La menopausa segna un cambiamento radicale nella secrezione dell'ormone riproduttivo nelle donne, ovvero estradiolo e progesterone.

Questa diminuzione produce effetti dannosi sull'osso che si manifestano in due fasi distinte: la prima fase di calo di questi ormoni durante i primi anni post-menopausali è caratterizzata da una rapida perdita ossea, aumento delle concentrazioni plasmatiche di calcio nel sangue e aumento dell'escrezione renale di calcio; nella seconda che si verifica durante il tardo periodo post-menopausale vi è un rallentamento della perdita di massa ossea grazie all'azione dell'estradiolo sul rene che agisce come soppressore dell'escrezione renale di calcio e stimola il riassorbimento tubulare del calcio.

Gli ormoni che regolano la concentrazione plasmatica di calcio sono estremamente importanti nell'omeostasi dell'apparato scheletrico poiché influenzano sia l'assorbimento,

³ Borer, K.T. Physical Activity in the Prevention and Amelioration of Osteoporosis in Women. *Sports Med* 35, 779–830 (2005).

e quindi l'aggiunta di calcio all'osso, sia l'escrezione di calcio attraverso i reni. I principali ormoni calciotropici sono PTH, calcitonina e colecalciferolo; in particolare quest'ultimo agendo attraverso i suoi recettori sugli osteoblasti partecipa alla formazione di nuovo materiale osseo e influenza il rimodellamento e la mineralizzazione ossea. La calcitonina inibisce il riassorbimento del minerale osseo e della matrice legandosi agli osteoclasti provocandone l'inattivazione.

La sospensione dell'estradiolo nella menopausa tardiva determina una ridotta disponibilità di calcio alimentare attraverso i suoi effetti sull'intestino e sui reni, oltre ai suoi effetti sull'azione degli ormoni calciotropici. L'assorbimento del calcio diminuisce perché la mancanza di estradiolo riduce la sensibilità renale al PTH portando una ridotta produzione renale di colecalciferolo. Questa ridotta capacità di estrarre il calcio alimentare, la donna in tarda post-menopausa comporta basse concentrazioni di calcio plasmatico che stimolano un'eccessiva secrezione di PTH, un pattern secretorio che attiva la sua azione di riassorbimento osseo.

Questa condizione nella tarda post-menopausa è spesso chiamata iperparatiroidismo secondario. Una volta che l'osso diventa osteopenico o osteoporotico, la sua sensibilità all'inizio del rimodellamento da parte del PTH aumenta, favorendo un ulteriore riassorbimento osseo.

L'astinenza da estrogeni riduce la disponibilità di calcio alimentare e aumenta l'azione di riassorbimento del PTH, in particolare nell'osso trabecolare, come mezzo per mantenere l'omeostasi del calcio plasmatico.

OSTEOPENIA

Per osteopenia si intende una riduzione dei componenti minerali in alcune ossa o in tutti i segmenti scheletrici. Questa caratteristica patologica dell'osso prevede una carenza di contenuto minerale, ma non di matrice ossea proteica a differenza dell'osteoporosi, la quale rappresenta uno stadio più grave.

La diagnosi per definire una presenza di osteopenia si esegue tramite mineralometria ossea computerizzata (MOC); il risultato deve essere compreso tra -1DS e -2,5DS⁴.

Non vi è ancora una prevalenza dell'attività degli osteoclasti rispetto a quella degli osteoblasti, non inducendo un lento e costante peggioramento.

Un osso con un impoverimento di minerali incrementa la sua fragilità, ciò comporta una maggiore predisposizione alla frattura che con il passare del tempo potrebbe evolversi in osteoporosi.

L'osteopenia spesso è secondaria alla menopausa, alla terapia corticosteroidea, all'immobilizzazione o alle malattie renali.

OSTEOPOROSI

La società italiana dell'osteoporosi, del metabolismo minerale e delle malattie dello scheletro definisce l'osteoporosi come una malattia sistemica dello scheletro caratterizzata da una ridotta massa ossea e da alterazioni qualitative (macro e microarchitettura, proprietà materiali) che si accompagnano ad aumento del rischio di frattura.

Si distinguono due tipologie: una primaria, ovvero per le donne dopo la menopausa o legata all'età (osteoporosi senile), l'altra secondaria, conseguente a malattie o farmaci come la malnutrizione, malattie endocrine, leucemia o allettamento prolungato.

L'incidenza dell'osteoporosi non è affatto trascurabile: in Italia secondo l'OMS sono circa 3,5 milioni di donne e un 1 milione di uomini che soffrono di questa patologia.

Essendo una malattia legata all'età, con l'incremento della speranza di vita potrebbe aumentare di conseguenza la sua rappresentanza nella popolazione poiché si stima che nei prossimi 20 anni la popolazione italiana over 65 aumenterà del 20%.

La conseguenza maggiore di avere uno scheletro indebolito è quello di aumentare il rischio di andare incontro ad una frattura, definita frattura osteoporotica. Le fratture di femore in Italia nella popolazione over 65 sono oltre 90mila.

Questo dato è significativo e preoccupante, considerando che il tasso di mortalità dopo tale frattura è del 15-30%.

⁴ L'argomento verrà approfondito in seguito, nel paragrafo riguardante l'osteoporosi.

La frattura osteoporotica, nel circa 20% dei casi, comporta una istituzionalizzazione a lungo termine, riportando importanti implicazioni sociali ed economiche oltre che sanitarie.

La patogenesi della frattura deve tenere conto dei molteplici fattori che influenzano l'evento: dalla resistenza ossea, all'energia dell'impatto, allo spessore dei tessuti molli.

Vi sono quindi fattori che possono essere intrinseci all'osso come la BMD ed altri extraossei.

Quest'ultimi sono rappresentati da età, sesso femminile, pregresse fratture da fragilità, familiarità per fratture da fragilità, terapia cortisonica e presenza di malattie concomitanti.

Uno dei fattori che incide maggiormente sulla resistenza meccanica dell'osso (60-80%) è il BMD: questo dato indica la densità minerale ossea che stabilisce i grammi per centimetro quadrato di superficie ossea proiettata. Viene utilizzato in ambito medico per effettuare diagnosi e definire il grado di osteoporosi nonché per valutare il rischio di fratture.

Il BMD viene calcolato tramite l'indagine densitometrica la cui unità di misura è rappresentata dalla deviazione standard dal picco medio di massa ossea (T-Score). L'OMS ha diviso in categorie il rischio fratture tramite fasce di valori del T-score:

- Normale: maggiore di -1DS
- osteopenia: T-score compreso fra -1DS e -2,5DS
- osteoporosi: inferiore a -2,5DS
- osteoporosi grave: inferiore a -2,5DS e almeno una frattura da fragilità

Tabella 1: definizioni e valori T-score

T-score	Z-score
$(BMD - BMD \text{ standard}) / SD$ (deviazioni standard)	$(BMD - BMD \text{ presunta}) / SD$ (deviazioni standard)

$T\text{-score} = Z\text{-score} + \text{Reference T-score}$	$Z\text{-score} = T\text{-score} - \text{Reference T-score}$
--	--

Massa ossea nella norma	T-score maggiore di -1
Osteopenia	T-score inferiore di -1.0 e maggiore di -2.5
Osteoporosi	T-score uguale o inferiore a -2.5
Osteoporosi severa	T-score uguale o inferiore a -2.5 con almeno una frattura osteoporotica

TABELLA 1									
Prevalenza dell'osteoporosi in Italia									
nella popolazione generale e in classi di età ≥ 65 anni									
(per 100 persone della stessa classe di età e sesso)									
Anno	tutte le classi di età			65-74 anni			≥ 75 anni		
	maschi	femmine	totale	maschi	femmine	totale	maschi	femmine	totale
2001	1,5	10,9	6,3	5,1	31,0	19,4	10,7	43,7	31,6
2002	1,7	11,2	6,6	5,5	31,1	19,6	13,4	44,2	32,9
2003	1,5	11,8	6,8	4,2	34,9	21,1	11,5	46,4	33,5
2005	1,8	11,4	6,7	5,2	31,4	19,7	10,5	44,9	31,8
2006	1,9	12,3	7,2	5,5	34,6	21,3	12,9	45,0	32,9
2007	2,0	12,6	7,4	5,5	33,5	20,8	12,2	49,2	35,1
2008	1,8	12,5	7,3	5,5	34,3	21,1	11,4	45,9	32,8
2009	1,7	12,6	7,3	4,8	34,2	20,5	9,5	46,4	32,4
2010	1,7	12,0	7,0	4,5	31,9	19,5	10,8	45,3	31,7
2011	1,8	12,3	7,2	4,7	32,9	19,8	11,6	47,3	33,5
2012	1,9	13,1	7,7	4,6	34,5	20,3	11,7	49,3	35,1
2013	1,8	12,7	7,4	4,1	32,1	18,9	11,1	49,0	34,4
2014	1,9	12,8	7,5	4,5	32,7	19,5	11,6	47,9	33,6
2015	1,8	12,6	7,3	3,7	31,8	18,7	9,7	45,7	31,2
2016	1,8	13,1	7,6	3,7	32,5	18,8	10,6	47,3	32,8

Fonte: ISTAT. Indagine Multiscopo ISTAT "Aspetti della vita quotidiana". Annuario Statistico Italiano. Edizioni dal 2002 al 2016 (5).

TABELLA 2				
Costi (€) dell'osteoporosi in Italia per uomini e donne per età. Anno 2010				
Età	Costo per fratture primo anno	Costo per disabilità a lungo termine	Costo per la prevenzione delle fratture	Costo totale
Donne				
50 – 74	823.498.045	216.991.128	183.526.818	1.224.015.991
75 +	2.110.554.205	1.508.825.198	132.865.817	3.752.245.220
Totale	2.934.052.250	1.725.816.326	316.392.635	4.976.261.211
Uomini				
50 – 74	570.667.695	156.286.640	28.831.907	755.786.242
75 +	763.862.895	520.311.116	15.585.496	1.299.759.507
Totale	1.334.530.590	676.597.756	44.417.403	2.055.545.749
Donne + Uomini				
50 – 74	1.394.165.740	373.277.768	212.358.725	1.979.802.233
75 +	2.874.417.100	2.029.136.314	148.451.313	5.052.004.727
Totale	4.268.582.840	2.402.414.082	360.810.038	7.031.806.960

Archives of Osteoporosis 2013 (7).

ANALISI DEGLI STUDI

ACCRESIMENTO OSSEO NELLA POPOLAZIONE PEDIATRICA

Nella revisione sistematica effettuata dalla National Osteoporosis Foundation americana nel 2016⁵ vengono presi in considerazione gli studi inerenti al rimodellamento osseo in età pediatrica.

La modellazione ossea è il processo con il quale lo scheletro, fin dalla crescita fetale, si organizza per accrescere di lunghezza, detto ossificazione endocondrale, sia per espandersi, ovvero apposizione periostale di osso corticale. Questo processo termina quando avviene la fusione epifisaria, solitamente entro la fine della seconda decade di vita. Uno dei fattori maggiormente ritenuti responsabili della maturazione delle ossa è il carico meccanico che tramite la stimolazione dei meccanocettori, attiva processi di apposizione di materiale, attraverso l'attivazione degli osteoblasti. Proprietà come la densità corticale e la resistenza strutturale terminano la maturazione nella terza decade di vita.

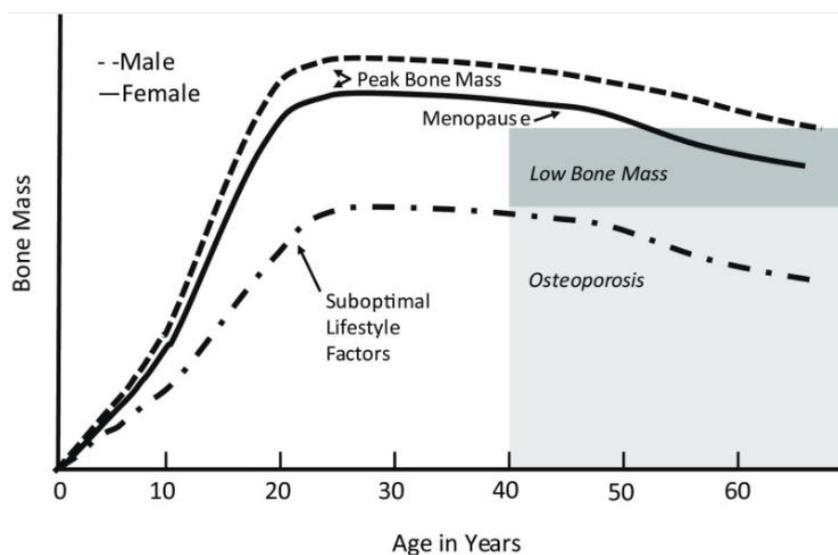


Figura 5 Massa ossea in relazione all'età

5 Weaver CM, Gordon CM, Janz KF, et al. The National Osteoporosis Foundation's position statement on peak bone mass development and lifestyle factors: a systematic review and implementation recommendations. *Osteoporosis International: a Journal Established as Result of Cooperation Between the European Foundation for Osteoporosis and the National Osteoporosis Foundation of the USA*. 2016 Apr; 27(4):1281-1386

La crescita ossea è solitamente lenta, ma con l'inizio della pubertà, essa acquisisce una grande velocità, insieme alla crescita in altezza dell'organismo. In questo periodo, durante 4 anni si accumula il 39% del tessuto osseo totale, e nei successivi 4 si ha il 95% della massa ossea dell'adulto.

Durante la crescita rapida tra la tarda infanzia e prima dell'adolescenza, è stato riscontrato un aumento statistico delle fratture, soprattutto nella regione dell'avambraccio, spesso conseguente ad una caduta a braccio teso. Questo dato è stato correlato ad un rischio da attività fisica, caratteristica intrinseca di questo specifico periodo e dalla debolezza transitoria dello scheletro. Quest'ultima è una risultate di una condizione passeggera, caratterizzata da osso corticale più sottile, densità minerale ossea volumetrica totale inferiore e aumento della porosità corticale. Si suppone sia dato da una crescita ossea lineare non compensata dalla mineralizzazione ossea.

Il periodo di rapido accrescimento può essere sia un momento di opportunità che di vulnerabilità per ottimizzare il picco di massa ossea, ovvero la quantità di osso acquisita da uno scheletro che termina la sua maturazione. A questo si collega il concetto di picco di forza ossea, caratterizzata da proprietà come la massa, la densità, la microarchitettura, i meccanismi di riparazione e le proprietà geometriche che forniscono resistenza strutturale.

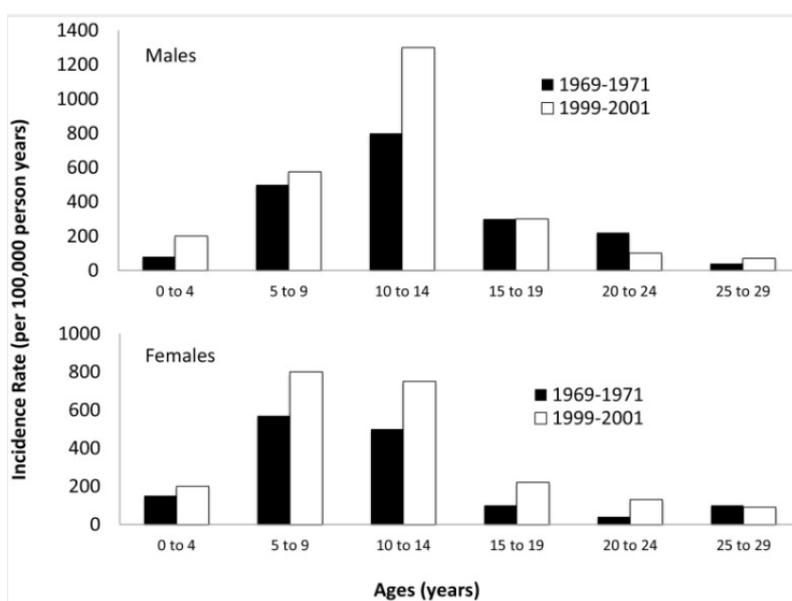


Figura 6 incidenza delle fratture in relazione all'età

La resistenza dello scheletro in età adulta è stata correlata alla qualità delle ossa in età neonatale, indipendentemente dall'incidenza di cadute e attività fisica; maggiormente coinvolti sono i bambini prematuri con una massa ossea ridotta durante la tarda infanzia e ridotto peso alla nascita. La maggior parte degli studi ha utilizzato DXA, tecnologia a raggi X a basso dosaggio per stimare l'area ossea; questa tecnologia si è dimostrata efficace nei bambini in quanto rapida, sicura e ampiamente disponibile e precisa. Attraverso l'uso di specifici software, sono stati aggiustati i risultati che spesso sottostimavano i bambini con scarsa crescita, correlando il dato alla statura.

CARICO MECCANICO

Anche se da decenni gli studi convergono su come uno stile di vita attivo sia fondamentale per la salute delle ossa, solo negli ultimi anni si sono quantificate le dimensioni, la dose e i tempi specifici dell'attività fisica necessari per massimizzare la forza ossea.

In questa sezione si approfondirà il ruolo del carico meccanico nei processi di osteogenesi in età pediatrica come prevenzione di una futura osteopenia.

Il concetto di carico meccanico è strettamente correlato a due definizioni: attività fisica ed esercizio fisico.

Il primo comprende qualsiasi movimento del corpo che produce contrazione muscolare e quindi dispendio energetico al di sopra del livello di riposo; il secondo è un concetto più specifico in quanto prevede una attività fisica pianificata, organizzata e ripetitiva con lo scopo di mantenere o migliorare uno o più componenti della forma fisica o della salute, come nel nostro caso la forza ossea.

Gli studi presi in considerazione hanno utilizzato due metodi principali: esercizio fisico mirato per migliorare la forza ossea o attività fisica quotidiana.

Attraverso studi condotti sugli animali, si è notato che sia l'impatto, per esempio, di un salto sia l'attivazione muscolare, creavano un carico meccanico capace di deformare l'osso.

Il carico nello specifico può essere prodotto dall'impatto con il suolo in movimento di salto o rotolamento, da impatto con un oggetto, per esempio in sport con racchetta o mazza, o da movimenti di forza muscolare come la fase di sollevamento nel salto e nel volteggio. Carichi statici e i carichi ripetitivi e di bassa magnitudo alzano la soglia di deformazione e con il tempo non diventano più osteogenici.

Questo stimolo esterno è in grado di attivare le cellule meccanosensibili, gli osteociti, situati all'interno dell'osso che a loro volta attivano il processo osteogenico fornito dagli osteoblasti. Questo processo è il medesimo che si attiva in caso di aumento del peso corporeo.

Per attivare la risposta osteogenica, l'osso necessita di superare una soglia, variabile da individuo a individuo, conseguente al proprio stile di vita e in base alla fisiologia del sito osseo. Bambini più attivi avranno bisogno di uno stimolo maggiore per attivare gli osteociti, in quanto abituati a stimoli maggiori rispetto a bambini con uno stile di vita sedentario che risponderanno a stimoli minori.

Lo scheletro deve rispondere a due specifiche proprietà: leggerezza per la mobilità e forza per sopportare al meglio carichi meccanici. Un meccanismo utile per aumentare la forza senza risultare troppo appesantito è modificare la propria struttura, aumentando l'apposizione periostale e allo stesso tempo allargare il canale midollare

L'osso risponde in modo migliore ad attività fisica dinamiche, con una entità del carico da moderata ad alta, di breve durata, con forze applicate non ripetitive nella direzione del carico.

IL RUOLO DELLA COMPOSIZIONE CORPOREA

Nel capitolo precedente abbiamo visto come l'attivazione muscolare è strettamente correlata alla composizione dell'osso. Da qui si può dedurre come la composizione corporea influenza fortemente la salute dell'osso.

Questo dato può essere dedotto anche dal fatto che durante l'età evolutiva la crescita muscolare e lo sviluppo della forza ossea avvengono contemporaneamente.

L'aumento di peso corporeo di per sé fornisce stimolo osteogenico sia di natura adiposa che di natura muscolare; tuttavia, bisogna distinguere il tessuto adiposo sottocutaneo da

quello viscerale in quanto quest'ultimo può attivare processi infiammatori riducendo la qualità dell'osso. Medesimo discorso per le infiltrazioni adipose nel muscolo e nel midollo osseo.

ESERCIZIO FISICO PER AUMENTO DELLA MINERALIZZAZIONE OSSEA NELLA POPOLAZIONE PEDIATRICA

Per studiare l'effetto dell'esercizio fisico in età pediatrica per la mineralizzazione ossea è stata presa in esame la revisione condotta dalla Weaver CM et al.⁶ che ha analizzato gli articoli da gennaio 2000 fino a dicembre 2014 attraverso una delle banche dati biomediche più importanti, PubMed. Sono state utilizzate le parole chiave: child*, adolescen*, bone. I criteri di esclusione per la scelta degli articoli sono stati: articolo non in inglese, data di pubblicazione precedente al 2000, studi sugli animali, revisioni, meta-analisi, studi con soggetti con età maggiore di 21 anni.

Attraverso questi filtri, gli studi che riguardavano l'effetto sulla massa ossea e sulla densità minerale ossea attraverso l'attività fisica e l'esercizio fisico sono stati 56 in totale, i cui 36 RCT e 20 studi osservazionali pubblicati dal 2000 in poi con una popolazione totale di 9942 individui analizzati.

6 Weaver CM, Gordon CM, Janz KF, et al. The National Osteoporosis Foundation's position statement on peak bone mass development and lifestyle factors: a systematic review and implementation recommendations. *Osteoporosis International: a Journal Established as Result of Cooperation Between the European Foundation for Osteoporosis and the National Osteoporosis Foundation of the USA*. 2016 Apr; 27(4):1281-1386.

References	Descrizione studio	Popolazione	N° soggetti
Witzke and Snow 2000	9-month jumping intervention Recruited for exercise group	Sex: female Age: 13–15 years Race: not listed Location: Corvallis, OR	53
McKay et al. 2000	Intervento di carico di 8 mesi Randomizzato dalla scuola	Sesso: maschio e femmina Età: 6,9–10,2 anni Razza: 34 % asiatica, 66 % bianca Località: Richmond, British Columbia	144
Heinonen et al. 2000	9 mesi di step aerobica/intervento di salto Randomizzato dalla scuola	Sesso: femmina Età: 10-15 anni Razza: non specificata Località: Tampere, Finlandia	126
Fuchs et al. 2001	Intervento di salto di 7 mesi Randomizzato per genere	Sesso: maschio e femmina Età: 7,5 anni \pm 0,17 Razza: 87 bianchi, 1 asiatico, 1 bianco-ispanico Località: Corvallis, OR	89
Nichols et al. 2001	Intervento di allenamento di resistenza di 15 mesi Randomizzato	Sesso: femmina Età: 14-17 anni Razza: non specificata Località: Texas Woman's University, TX	16
Mackelvie et al. 2001	Intervento di salto di 9 mesi Randomizzato dalla scuola	Sesso: femmina Età: 9-12 anni Razza: popolazione multi-etnica della città (45 % bianca, 34 % asiatica e 21 % etnie miste) riflessa nella coorte Località: Richmond, British Columbia	177
Mackelvie et al. 2002	Intervento di salto di 7 mesi Randomizzato dalla scuola	Sesso: maschio Età: 8,8–11,7 anni Razza: popolazione multi-etnica della città (45 % bianchi, 34 % asiatici e 21 % etnie miste) riflessa nella coorte Località: Richmond, British Columbia	121
Kontulainen et al. 2005	Follow-up di 20 mesi fino a 9 mesi di step aerobica/intervento di salto Randomizzato dalla scuola	Sesso: femmina Età: 10-15 anni Razza: non specificata Località: Tampere, Finlandia	99
Petit et al. 2002	Intervento di salto di 7 mesi Randomizzato dalla scuola	Sesso: femmina Età di base: 9–12 anni Razza: popolazione multi-etnica della città (~34 % cinesi di Hong Kong e 57 % bianchi) riflessa nella coorte	177

		Località: Richmond, British Columbia	
Laing et al. 2002	36 mesi di partecipazione alla ginnastica Assunto per iscrizione alla ginnastica	Sesso: femmina Età: 8-13 anni al basale Razza: tutti caucasici (tranne un controllo ispanico) Località: Athens, Georgia	17
MacKelvie et al. 2003	Intervento di salto di 20 mesi Randomizzato dalla scuola	Sesso: femmina Età: 8,8–11,7 anni al basale Razza: popolazione multietnica della città (57% bianchi, 34% cinesi di Hong Kong, 5% indiani orientali, 4% altra origine etnica o etnia mista) riflessa nella coorte Località: Richmond, British Columbia	75
Van Langendonck et al. 2003	Intervento di impatto di 9 mesi sui gemelli Gemelli randomizzati per esercitare o controllare, mantenendo l'ordine di nascita uguale tra i gruppi	Sesso: femmina (21 coppie gemelle) Età: 8,7 anni (DS = 0,7) Razza: non specificata Località: Belgio	42
Iuliano Burns et al. 2003	Prove di intervento randomizzate di 8,5 mesi con due fattori (esercizio e calcio) che avevano ciascuno due livelli	Sesso: femmina Età: 7–11 anni Razza: 15% di origine asiatica Località: Melbourne, Australia	66
Specker e Binkley 2003	Studio di 1 anno randomizzato, controllato con placebo, parzialmente in cieco su PA e supplementazione di calcio	Sesso: maschio e femmina Età: 3-5 anni Razza: 94 % bianchi, 6% altri Località: South Dakota	178
Stear et al. 2003	Studio randomizzato, in doppio cieco di 15,5 mesi su PA e supplementazione di calcio	Sesso: femmina Età: 17,3 ± 0,4 anni Razza: non elencata Località: UK	131
MacKelvie et al. 2004	Intervento di salto di 20 mesi Randomizzato dalla scuola	Sesso: maschio Età: 8,8–12,1 anni Razza: popolazione multietnica della città (~34% cinesi di Hong Kong e 57% caucasici nordamericani/europei occidentali, 5% del sud-est asiatico e 4% di altra etnia o mista) riflessa nella coorte Località: Richmond, Columbia Britannica	64
McKay et	Intervento di salto di 8 mesi	Sesso: maschio e femmina	124

al. 2005	Gruppo di controllo utilizzato dallo studio precedente	Età: da 8,9 a 11,0 anni Razza: 38% caucasica, 48% asiatica, 15% altro (compresi etnia mista, nera e asiatica meridionale) Località: Richmond, Columbia Britannica	
Laing et al. 2005	Studio prospettico quasi-sperimentale di ginnastica di 24 mesi Reclutato a causa dell'iscrizione alla ginnastica	Sesso: femmina Età: 4-8 anni Razza: 64 % bianchi, 27 % neri, 3 % asiatici, 2 % ispanici, 1 % indiani e 3 % altri Località: Athens, Georgia	143
Yu et al. 2005	Intervento di allenamento della forza di 36 settimane Randomizzato	Sesso: maschile e femminile Età: 9-11 anni Razza: non specificata Località: Hong Kong	63
Valdimarsson et al. 2006	Intervento PE ampliato di 1 anno Randomizzato dalla scuola	Sesso: femmina Età: 6,5-8,9 anni Razza: caucasica Località: Malmö, Svezia	103
Linden et al. 2006	Intervento PE ampliato di 2 anni Randomizzato dalla scuola	Sesso: femmina Età: 6,5-8,9 anni Razza: bianca Località: Malmö, Svezia	99
Basso et al. 2007	Prove di intervento randomizzate di 8,5 mesi con due fattori (esercizio e calcio) che avevano ciascuno due livelli	Sesso: maschio Età: 7-11 anni Razza: 22 % Discendenza asiatica Località: Melbourne, Australia	88
Linden et al. 2007	Intervento PE ampliato di 1 anno Randomizzato dalla scuola	Sesso: maschio Età: 6,7-9,0 anni Razza: caucasica (tranne 1 ragazzo adottato dalla Colombia) Località: Malmö, Svezia	138
Barbeau et al. 2007	Intervento MVPA a 10 mesi Randomizzato	Sesso: femmina Età: 8-12 anni Razza: nera Località: Georgia	201
Schneider et al. 2007	Intervento MVPA di 1 anno Randomizzato dalla scuola	Sesso: femmina Età: 15,04 anni (DS = 0,79) Razza: 57 % bianco non ispanico, 20 % ispanico, 17 % asiatico, 6 % altro Località: 2 scuole superiori pubbliche, località non specificata	122
Gunter et	Intervento di salto di 7 mesi	Sesso: maschio e femmina	56

al. 2008	Randomizzato dalla scuola	Età: 7–10 anni Razza: non specificata Località: Corvallis, OR	
Gunter et al. 2008	Intervento di salto di 7 mesi Randomizzato dalla scuola	Sesso: maschio e femmina Età: 7-10 anni Razza: 47 bianchi, 2 asiatici Località: Corvallis, OR	49
Weeks et al. 2008	Intervento di salto di 8 mesi Randomizzato	Sesso: maschile e femminile Età: ragazzi 13,8 anni (0,4); ragazze 13,7 anni (0,5) Razza: non specificata Località: Gold Coast, Australia	81
Macdonald et al. 2008	PA di 11 mesi e intervento di salto Randomizzato dalla scuola	Sesso: maschio e femmina Età: 9–11 anni Razza: 53% asiatica (entrambi i genitori o tutti e quattro i nonni nati a Hong Kong o in Cina, India, Filippine, Vietnam, Corea o Taiwan. 35% caucasica (genitori nati in Nord America o Europa). 12 % bambini di etnia mista o altre origini etniche Località: Vancouver e Richmond, Columbia Britannica	410
Alwi et al. 2008	Intervento PE ampliato di 1 anno Randomizzato dalla scuola	Sesso: femmina Età: 6,5–8,9 anni Razza: caucasica Località: Malmö, Svezia	103
Alwi et al. 2008	Intervento PE ampliato di 2 anni Randomizzato dalla scuola	Sesso: maschio Età: 6,7–9,0 anni Razza: caucasica Località: Malmö, Svezia	137
Alwi et al. 2008	Intervento PE ampliato di 2 anni Randomizzato dalla scuola	Sesso: femmina Età: 6,8–8,9 anni Razza: caucasica Località: Malmö, Svezia	83
Meyer et al. 2011	Intervento di sessione PE aggiuntiva di 9 mesi Randomizzato per classe	Sesso: maschile e femminile Età: prepuberale = 6-7 anni; pubertà precoce = 11–12 anni Razza: non specificata Località: Argovia e Basilea Campagna, Svizzera	291
Silva et al. 2011	Studio sportivo Reclutamento basato sulla partecipazione sportiva	Sesso: maschio Età: 10-18 anni Razza: non specificata	46

		Località: Brasile	
Lofgren et al. 2012	Intervento PE ampliato di 4 anni Randomizzato dalla scuola	Sesso: maschio e femmina Età: 6,5–8,7 anni Razza: caucasica Località: Malmö, Svezia	221
Detter et al. 2014	Intervento PE ampliato di 6 anni Randomizzato dalla scuola	Sesso: maschio e femmina Età: 6-8 anni Razza: caucasica Località: Malmö, Svezia	295
Lehtonen-Veromaa et al. 2000	Confronto di casi prospettici a 1 anno	Sesso: 155 femmine Età di riferimento: 9–15 anni Razza: bianca Località: Turku, Finlandia	51 ginnaste, 50 corridori, 54 controlli
Molgaard et al. 2001	Follow-up prospettico di 1 anno	Sesso: 140 maschi, 192 femmine Età di riferimento: 5-19 anni Razza: bianca Località: Copenhagen, Danimarca	332
Gustavsson et al. 2003	Confronto di casi prospettici a 2,5 e 6 anni	Sesso: 68 maschi Età di riferimento: 16 anni Razza: bianca Località: Umea, Svezia	22 hockey, 21 pensionati hockey, 25 controlli
Nurmi Lawton et al. 2004	Confronto di casi prospettici a 3 anni	Sesso: 97 femmine Età di riferimento: 7,9–17,2 anni Razza: prevalentemente bianca Località: Inghilterra	45 ginnaste, 52 controlli
Laing et al. 2005	Follow-up prospettico di 2 anni	Sesso: 143 femmine Età di riferimento: 4-8 anni Razza: 64 % bianchi, 27 % neri, 3 % asiatici, 2 % ispanici, 4 % altri Località: Athens, Georgia	65 ginnaste, 78 controlli
Janz et al. 2006	Follow-up prospettico a 3 anni	Sesso: 171 maschi, 199 femmine Età di riferimento: 5 anni Razza: prevalentemente bianca Località: Iowa, USA	370
Nordstrom et al. 2006	~Confronto di casi prospettici a 8 anni	Sesso: 90 maschi Età di riferimento: 15-19 anni Razza: caucasica Località: Umea, Svezia	63 atleti, 27 controlli
Baxter Jones et al. 2008	Follow-up prospettico di ~15 anni	Sesso: 72 maschi, 82 femmine Età di riferimento: 8–15 anni Razza: non specificata Località: Saskatoon, Saskatchewan, Canada	154
Cheng et	Follow-up prospettico a 7	Sesso: 396 femmine	396

al. 2009	anni	Età di riferimento: 10–13 anni Razza: non specificata Località: Jyvaskyla, Finlandia	
Janz et al. 2010	Follow-up prospettico a 3 e 6 anni	Sesso: 148 maschi, 185 femmine Età di riferimento: 5 anni Razza: prevalentemente bianca Località: Iowa, USA	333
Tervo et al. 2010	~ Confronto di casi di 12 anni	Sesso: 85 maschi Età di riferimento: 15-19 anni Razza: non specificata Località: Umea, Svezia	18 badminton, 44 hockey su ghiaccio, 23 controlli
Erlandson et al. 2011	Confronto di casi prospettici a 4 anni	Sesso: 163 maschi e femmine Età di riferimento: 4-7 anni Razza: 95% bianchi, 2% asiatici, 3% altri (birazziali) Località: Saskatoon, Saskatchewan, Canada	163 ginnaste, ex ginnaste, non ginnaste
Scerpelle et al. 2011	Confronto di casi prospettici a 12 anni	Sesso: 20 femmine Età di riferimento: 8–12 anni Razza: non specificata Località: Syracuse, New York, USA	6 ex ginnaste, 14 non ginnaste
Erlandson et al. 2012	Confronto di casi prospettici a 14 anni	Sesso: 47 femmine Età di riferimento: 8–15 anni Razza: non specificata Località: Saskatoon, Saskatchewan, Canada	25 ginnaste, 22 controlli
Farr et al. 2013	Follow-up prospettico di 2 anni	Sesso: 248 femmine Età di riferimento: 9–12 anni Razza: 90% bianchi, 6% asiatici, 2% neri o afroamericani, 1% nativi americani o nativi dell'Alaska, 1% nativi hawaiani o delle isole del Pacifico e 0,5% altri Località: Tucson, Arizona, USA	248
Francesco et al. 2014	Follow-up prospettico a 10 anni	Sesso: 156 maschi, 170 femmine Età di riferimento: 5 anni Razza: prevalentemente bianca Località: Iowa, USA	326
Janz et al. 2014	Follow-up prospettico a 10 anni	Sesso: 217 maschi, 235 femmine Età di riferimento: 5 anni Razza: prevalentemente bianca Località: Iowa, USA	452
Janz et al. 2014	Follow-up prospettico a 12 anni	Sesso: 160 maschi, 189 femmine Età di riferimento: 5 anni Razza: prevalentemente bianca Località: Iowa, USA	349

Cardadeiro et al. 2014	Follow-up prospettico di 1 anno	Sesso: 81 maschi, 96 femmine Età di riferimento: 10-12 anni Razza: prevalentemente bianca Località: area di Lisbona, Portogallo	177
------------------------	---------------------------------	--	-----

Su 36 RCT, 30 hanno riportato differenze statisticamente significative e molti risultati erano clinicamente significativi con una differenza percentuale di BMD di circa il 3% tra il gruppo che ha eseguito il programma prescritto e il gruppo di controllo al completamento dell'intervento.

L'incremento maggiore nel minerale osseo in tutto il corpo, maggiormente specifico in anca e colonna lombare, si è avuto nella popolazione di bambini in età prepuberale che hanno riportato una differenza di circa 1-6% in soli 6 mesi di studio. Gli studi variavano leggermente nel metodo: generalmente sono state utilizzate dalle 2 alle 5 sessioni a settimana, ognuna tra i 10 ai 60 minuti per una durata dai 7 ai 24 mesi.

L'intervento consisteva in sport, giochi, danza o esercizi ad alto impatto come il salto. Gli studi su adolescenti in tarda pubertà e in fase postpuberale erano numericamente minori sia in quantità sia differenza di accumulo di minerale osseo.

La revisione ha considerato, inoltre, 20 studi longitudinali prospettici. Il 90% di essi (18 casi) ha riportato differenze statistiche significative nella massa o nella densità ossea tra bambini e adolescenti più attivi rispetto a quelli più sedentari. Ancora migliori i risultati di chi praticava sport organizzati.

Gli studi che hanno utilizzato come metro di misura l'Iowa Bone Development Study hanno mostrato una BMC dell'anca maggiore del 10-16% e una BMD dell'anca maggiore dell'8% nei partecipanti più attivi dall'infanzia fino all'adolescenza.

Questo dato è stato ulteriormente confermato da uno degli studi più importanti presi in considerazione, quello dell'università del Saskatchewan Pediatric Bone Mineral Accrual Stud. Uno studio longitudinale ha messo in correlazione il livello generale di attività fisica auto-riferita e il BMC di un gruppo di adolescenti canadesi sani; i risultati hanno mostrato un incremento del 8-10% del BMC dell'anca da giovani adulti quando essi svolgevano attività fisica attivi. Lo studio suggerisce quindi la possibilità di benefici a lungo termine dell'attività fisica infantile sul BMC adulto. In conclusione, gli studi hanno ampiamente dimostrato che i bambini e ragazzi che praticavano livelli più alti di attività fisica nella

fascia di età tra gli 8 e i 15 anni avevano un maggior accumulo di massa ossea rispetto ai coetanei meno attivi.

RISULTATI SUGLI ESITI STRUTTURALI OSSEI NELLA POPOLAZIONE PEDIATRICA

Nella revisione proposta precedentemente⁷ sono stati analizzati, inoltre, 17 RCT e 8 studi osservazionali pubblicati dal 2000 per analizzare se e in caso come l'attività fisica possa avere effetti sulla geometria ossea.

Degli RCT presi in considerazione, 6 hanno riportato risultati significativi sul miglioramento della geometria dell'osso. Degli altri 11 studi che non hanno riportato differenze statistiche bisogna specificare che 6 provenivano dallo stesso studio. Questi ultimi non prevedevano esercizi osteogenici specifici come il salto o il carico meccanico, ma l'attività fisica svolta a scuola con intensità variabile: cinque giorni a settimana, 40 minuti al giorno o un programma di 1-2 giorni a settimana con durata di 60 minuti a settimana.

Al contrario un RCT con un anno di follow up, prendeva in esami bambini di età compresa tra i 3 e i 5 anni di età; al personale era fornito un programma di esercizi osteogenici come il salto. È stato riscontrato un aumento delle circonferenze periostale ed endostale nel sito del 20% nella tibia distale rispetto al gruppo di controllo. Il cambiamento perdurava anche dopo un anno dal follow up, anche se questo dato potrebbe essere compromesso dal momento che il gruppo con esercizi specifici aveva generalmente uno stile di vita maggiormente attivo rispetto alla controparte.

Un progetto portato avanti dalla University of British Columbia ha utilizzato un protocollo dalla durata di 16 mesi, frequenza di 5 giorni a settimana per 15 minuti al giorno e confrontato questo intervento con la normale educazione fisica per il gruppo di controllo.

7 Weaver CM, Gordon CM, Janz KF, et al. The National Osteoporosis Foundation's position statement on peak bone mass development and lifestyle factors: a systematic review and implementation recommendations. *Osteoporosis International* : a Journal Established as Result of Cooperation Between the European Foundation for Osteoporosis and the National Osteoporosis Foundation of the USA. 2016 Apr; 27(4):1281-1386.

È stata segnalata una differenza significativa del 3% in più del momento di inerzia della sezione trasversale della tibia mediana nei ragazzi. Questo dato suggerisce un cambiamento nella geometria della sezione trasversale dovuto all'aumento dell'apposizione periostale in uno dei piani.

Tutti e gli otto studi osservazionali prospettici hanno riscontrato differenze statisticamente significative e probabilmente clinicamente percettivi tra i membri della coorte con stile di vita più attivo e la controparte sedentaria.

Il Il Pediatric Bone Mineral Accrual Study dell'Università del Saskatchewan ha riscontrato un CSA e un modulo di sezione del femore prossimale superiori dell'8–12% nei giovani adulti attivi da adolescenti, rispetto ai coetanei meno attivi da adolescenti. Questo dato è stato riportato anche in un altro studio con un CSA (area di sezione trasversale) osseo totale della tibia maggiore del 10% nei giovani adulti maggiormente attivi da adolescenti rispetto ai coetanei meno attivi. Nella popolazione femmine sono state riscontrate differenze del 10% in più di CSA e del 12% in più di contenuto corticale della tibia.

REFERENCES	STUDIO	POPOLAZIONE	SOGGETTI
Heinonen et al. 2000	9 mesi di step aerobica/ intervento di salto Randomizzato dalla scuola	Sesso: femmina Età: 10-15 anni Razza: non specificata Località: Tampere, Finlandia	126
Petit et al. 2002	Intervento di salto di 7 mesi Randomizzato dalla scuola	Sesso: femmina Età: 9–12 anni Razza: popolazione multietnica della città (~34 % cinesi di Hong Kong e 57 % bianchi) riflessa nella coorte Località: Richmond, British Columbia	177
Specker e Binkley 2003	Studio di 1 anno randomizzato, controllato con placebo, parzialmente in cieco su PA e supplementazione di calcio	Sesso: maschio e femmina Età: 3-5 anni Razza: 94 % bianchi, 6% altri Località: South Dakota	178
MacKelvie et al. 2004	Intervento di salto di 20 mesi Randomizzato dalla scuola	Sesso: maschio Età: 8,8–12,1 anni Razza: popolazione multietnica della città (~34% cinesi di Hong Kong e 57% caucasici nordamericani/europei occidentali, 5% del sud-est asiatico e	64

		4% di altra etnia o mista) riflessa nella coorte Località: Richmond, Columbia Britannica	
McKay et al. 2005	Intervento di salto di 8 mesi Gruppo di controllo utilizzato dallo studio precedente	Sesso: maschio e femmina Età: da 8,9 a 11,0 anni Razza: 38% caucasica, 48% asiatica, 15% altro (compresi etnia mista, nera e asiatica meridionale) Località: Richmond, Columbia Britannica	124
Macdonald et al. 2007	PA di 16 mesi e intervento di salto Randomizzato dalla scuola	Sesso: maschio e femmina Età: 10,2 ± 0,6 anni Razza: 53 % asiatica (Hong Kong o Cina, India Filippine, Vietnam, Corea o Taiwan), 35 % caucasica (Nord America o Europa), 12 % mista o di altre origini etniche Località: Richmond e Vancouver, Columbia Britannica	410
Linden et al. 2007	Intervento PE ampliato di 1 anno Randomizzato dalla scuola	Sesso: maschio Età: 6,7–9,0 anni Razza: caucasica (tranne 1 ragazzo adottato dalla Colombia) Località: Malmö, Svezia	138
Macdonald et al. 2008	PA di 8 mesi e intervento di salto Randomizzato	Sesso: maschio e femmina Età: 9–11 anni Razza: 53% asiatica (entrambi i genitori o tutti e quattro i nonni nati a Hong Kong o in Cina, India, Filippine, Vietnam, Corea o Taiwan. 35% caucasica (genitori nati in Nord America o Europa). 12 % bambini di etnia mista o altre origini etniche Località: Vancouver e Richmond, Columbia Britannica	410
Alwi et al. 2008	Intervento PE ampliato di 1 anno Randomizzato dalla scuola	Sesso: femmina Età: 6,5–8,9 anni Razza: caucasica Località: Malmö, Svezia	103
Alwi et al. 2008	Intervento PE ampliato di 2 anni Randomizzato dalla	Sesso: maschio Età: 6,7–9,0 anni Razza: caucasica	137

	scuola	Località: Malmö, Svezia	
Alwi et al. 2008	Intervento PE ampliato di 2 anni Randomizzato dalla scuola	Sesso: femmina Età: 6,8–8,9 anni Razza: caucasica Località: Malmö, Svezia	291
Weeks et al. 2008	Intervento di salto di 8 mesi Randomizzato	Sesso: maschile e femminile Età: ragazzi 13,8 anni (0,4); ragazze 13,7 anni (0,5) Razza: non specificata Località: Gold Coast, Australia	81
Greene et al. 2009	Intervento drop-landing di 28 settimane Randomizzato	Sesso: femmina Età: 6-10 anni Razza: non elencata Località: Sydney, Australia	39
Macdonald et al. 2009	PA di 16 mesi e intervento di salto Randomizzato	Sesso: maschio Età: 10,2 ± 0,6 anni Razza: 52 % asiatica (Hong Kong o Cina, India, Filippine, Vietnam, Corea o Taiwan), 35 % caucasica (Nord America o Europa), 12 % mista o di altre origini etniche Località : Richmond e Vancouver, Columbia Britannica	205
Lofgren et al. 2012	Intervento PE ampliato di 4 anni Randomizzato dalla scuola	Sesso: maschio e femmina Età: 6,5–8,7 anni Razza: caucasica Località: Malmö, Svezia	221
Anliker et al. 2012	Intervento di salto di 9 mesi Randomizzato dalla scuola	Sesso: maschio e femmina Età: 8–12 anni Razza: non elencata Località: Lucerna, Svizzera	45
Detter et al. 2014	Intervento PE ampliato di 6 anni Randomizzato dalla scuola	Sesso: maschio e femmina Età: 6-8 anni Razza: caucasica Località: Malmö, Svezia	133
Forwood et al. 2006	Follow-up prospettico a 7 anni	Sesso: 109 maschi, 121 femmine Età di riferimento: 8–15 anni Razza: bianca Località: Saskatoon, Saskatchewan, Canada	230
Janz et al. 2007	Follow-up prospettico a	Sesso: 212 maschi, 233 femmine	445

	6 anni	Età di riferimento: 5 anni Razza: prevalentemente bianca Località: Iowa, USA	
Farr et al. 2013	Follow-up prospettico di 2 anni	Sesso: 248 femmine Età di riferimento: 9-12 anni Razza: 90% bianchi, 6% asiatici, 2% neri o afroamericani, 0,5% nativi americani o nativi dell'Alaska, 1% nativi hawaiani o delle isole del Pacifico, 0,5% altri Località: Tucson , Arizona, USA	248
Gruodyte-Raciene et al. 2013	Follow-up prospettico di 4 anni	Sesso: 81 maschi, 84 femmine Età di riferimento: 4–10 anni Razza: 96 % bianchi, 2% asiatici, 2% altri Località: Saskatoon, Saskatchewan, Canada	165 92 ginnaste, 73 non ginnaste
Janz et al. 2014	Follow-up prospettico a 12 anni	Sesso: 160 maschi, 189 femmine Età di riferimento: 5 anni Razza: prevalentemente bianca Località: Iowa, USA	349
Jackowski et al. 2014	Follow-up prospettico di ~15 anni	Sesso: 55 maschi, 49 femmine Età di riferimento: 8–15 anni Razza: prevalentemente bianca Località: Saskatoon, Saskatchewan, Canada	104
Duckham et al. 2014	~ Follow-up prospettico di 18 anni	Sesso: 49 maschi, 73 femmine Età di riferimento: 8–15 anni Razza: prevalentemente bianca Località: Saskatoon, Saskatchewan, Canada	122
Cardadeiro et al. 2014	Follow-up prospettico di 1 anno	Sesso: 81 maschi, 96 femmine Età di riferimento: 10-12 anni Razza: prevalentemente bianca Località: area di Lisbona, Portogallo	177

ATTIVITÀ FISICA COME STRUMENTO PREVENTIVO NELLE DONNE

La prevenzione dell'osteoporosi negli anni recenti si basa sull'evidenza che una regolare attività fisica aiuti il mantenimento osseo, la formazione di nuovo tessuto oltre al rafforzamento muscolare migliorando l'equilibrio e riducendo il rischio di cadute e relative fratture.

Le donne vanno incontro alla menopausa solitamente tra i 45 e i 55 anni. Come accennato, questo evento è associato a cambiamenti endocrini importanti per il sistema muscolo-scheletrico. Vi è infatti un precoce aumento della concentrazione plasmatica di FSH e un inizio della diminuzione della massa ossea.

Il femore è il primo osso ad essere interessato alla perdita di massa ossea dopo i 40 anni mentre dopo i 50 della colonna vertebrale.

La parte corticale del segmento osseo prevede un assottigliamento della parte corticale e un aumento della porosità intra-corticale; nell'osso trabecolare vi è un assottigliamento trabecolare e perdita della connettività trabecolare.

La revisione fornita da Borer nel 2005⁸ ha considerato la letteratura più recente sulla relazione tra donne nelle varie fasce di età e osteoporosi, cercando di evidenziare i migliori protocolli preventivi e di trattamento per questa popolazione maggiormente a rischio.

Gli studi revisionati si concentravano sull'analisi dell'aumento del BMD in siti specifici come femore prossimale e colonna vertebrale nelle donne in premenopausa mostrano risultati molto differenti in correlazione alla metodologia utilizzata nello studio. Le differenze appaiono molto marcate tra studi longitudinali e RCT dal momento che questi ultimi risultano limitati sia in termini di durata che di intensità dell'intervento.

In generale nelle atlete tra i 20-25 che praticano sport come corsa, salto, atletica, calcio basket, pallavolo, tennis e sollevamento pesi, mostrano un aumento del BMD nei siti specifici presi in esame (femore e colonna vertebrale) a differenza della stessa popolazione che pratica nuoto, ciclismo, sci di fondo, pattinaggio, ballo e canottaggio. Questi risultati sono evidenziati nella tabella di figura 4 che mostra gli effetti dell'esercizio fisico nelle donne in premenopausa e perimenopausa sull'accrescimento o il mantenimento osseo.

⁸ Borer, K.T. Physical Activity in the Prevention and Amelioration of Osteoporosis in Women. *Sports Med* 35, 779–830 (2005).

Study	Age (y)	No. of subjects	Duration of training (y)	Volume of training	Intensity (%1RM)	Activity	Outcomes
Creighton et al. ^[345]	19–20	41E	>4	12–15 h/wk	M-Hi	GRF sport vs swimming	↑BMD FN, FT in GRF sports
Haapasalo et al. ^[46]	19–21	30E, 25C	8	7 h/wk	M-Hi	Tennis	↑BMC, ↑BMD, ↑BMAD, ↑WC, ↑CSMI, ↑Z HS
Taaffe et al. ^[347]	19–21	81E, 22C	10–11	48 km/wk	M-Hi	Gymnastics Running Swimming	↑BMD LS, FN ↔BMD ↔BMD
Fehling et al. ^[343]	19.5–21	28E, 17C	8–12	20 h/wk	M-Hi	Volleyball Gymnastics Swimming	↑BMD FN ↑BMD LS, FN ↔BMD
Snow-Harter et al. ^[347]	20	22E, 8C	8mo	3 d/wk, 10 reps, 3 sets 7–17 km/wk	85 75 HR _{max}	JRF GRF	↑BMD LS ↑BMD LS
Vuori et al. ^[63]	21	12E, 12C	1	4 d/wk, 10 reps, 5 sets	80	JRF	↔BMD
Hawkins et al. ^[62]	21–22	8E, 8C	4.5mo	3 d/wk, 3 reps ecc, 3 sets 3 d/wk, 4 reps con, 3 sets	100	JRF	↑BMD FS (ecc only)
Heinonen et al. ^[348]	21–25	105E, 25C	12.9	8.6 h/wk 10.9 6 10.7 h/wk 3.6 8.2 h/wk	M-Hi M-Hi M-Hi M-Hi	Orienteering CC skiing Cycling Weight lifting	↑BMD Fd ↔BMD ↔BMD BMD LS, Rd, Fd, Tp
Heinonen et al. ^[341]	21–25	84E, 25C	5.5	7 h/wk	M-Hi	Squash	↑BMD LS, FN, Rd
			6.8		M-Hi	Aerobic dance	↑BMD FN
			9.3		M-Hi	Speed skating	↔BMD, BMC
Wolman et al. ^[344]	23–26	67E, 13C			M-Hi	Running Rowing Dancing	↑BMC FS in runners ↔BMC ↔BMC
Heinonen et al. ^[340]	24–26	13E, 19C	8mo	1.25 h/wk	80	JRF	↔BMD, BMC
Haapasalo et al. ^[333]	25	19E, 19C	6.5	5 h/wk	M-Hi	Squash	↑BMD Hp, HS, RS, US, Rd, Ud ↑BMC Hp, HS, RS, US, Rd, Ud
Kontulainen et al. ^[337]	26.5–28.5	36E, 27C	16.5	1.7 h/wk	M	Tennis/squash	↑BMC HS retained
Kirk et al. ^[346]	30–31	10E, 10C	7	53 km/wk	M-Hi	Running	↑BMD LS
Gleeson et al. ^[346]	33	34E, 38C	1	3 d/wk (30 min)	60	JRF	↑BMD LS
Lohman et al. ^[61]	34	22E, 34C	18mo	3 d/wk, 10 reps, 3 sets	80	JRF	↑BMD LS, FT
Alekel et al. ^[341]	34–36	62E, 31C	1–9 1–12	19–58 km/wk (walk) 2–7 h/wk (dance)	M-Hi M-Hi	GRF GRF	↑BMD LS, F, FN ↑BMD LS, F, FN
Bassey et al. ^[30]	36–38	30E, 25C	5mo	6 d/wk	GRF = 3	Jumping	↑BMD FT
Heinonen et al. ^[340]	39	49E, 49C	1.5	3 d/wk	Hi	GRF	↑BMD FN
Winters and Snow ^[362]	39.5	29E, 20C	1	3 d/wk, 10 reps, 9 sets		GRF (jumping)	↑BMD FT
			6mo det	3 d/wk, 11 reps, 9 sets	M	JRF	↔BMD
Haapasalo et al. ^[46]	39–43	20E, 16C	14	5 h/wk	M	Tennis	↑BMD, ↑BMC, ↑CSMI H
Orwoll et al. ^[251]	40–55	16E, 16C	11	5 h/wk	M	Swimming	↔BMD
Smith et al. ^[72]	51	80E, 62C	4	3 d/wk, 0.75h	70–85 HRr	GRF	vBMD loss H, R, U
Notelovitz et al. ^[362]	43–46	9E ^a , 11C ^a	1	3 d/wk, 8 reps, 1 set (slow)	90	JRF	↑BMD TB, RS
Kontulainen et al. ^[337]	44.5	28E, 27C	18	1.5 h/wk	M	Tennis/squash	↑BMC HS retained
Heinonen et al. ^[16]	53	67E, 34C	1.5	2.5 h/wk	43–72% HR _{max}	GRF	BMD FN maintained BMD Rd loss

a Subjects were hysterectomised and treated with estradiol.

BMAD = bone mineral apparent density; **BMC** = bone mineral content; **BMD** = bone mineral density; **C** = sedentary controls; **CC** = cross-country; **con** = concentric contractions; **CSMI** = cross-sectional modulus of inertia (bone rigidity); **det** = detraining; **E** = exercising subjects; **ecc** = eccentric contractions; **F** = femur; **Fd** = distal femur; **FN** = femoral neck; **FS** = femoral shaft; **FT** = femoral trochanter; **GRF** = ground reaction force; **H** = humerus; **Hi** = high intensity; **Hp** = proximal humerus; **HR_{max}** = maximal heart rate (220 – age); **HRr** = heart rate reserve (maximal – resting heart rate); **HS** = humeral shaft; **JRF** = joint reaction forces; **LS** = lumbar spine; **M** = moderate intensity; **reps** = repetitions; **R** = radius; **Rd** = distal radius; **RM** = repetition maximum; **RS** = radial shaft; **TB** = total body; **Tp** = proximal tibia; **U** = ulna; **Ud** = distal ulna; **US** = ulnar shaft; **vBMD** = volumetric BMD; **WC** = cortical width; **Z** = section modulus (bending strength); ↑ indicates increase; ↔ indicates no effect.

Figura 7 effetti dei vari sport sull'accrescimento o mantenimento della densità ossea.

In contrasto con l'apparente efficacia di alcune forme di allenamento non tutti gli studi hanno riportato grandi differenze nell'aumento della massa ossea al di sopra della popolazione di riferimento. Gli studi spesso hanno proposto esercizi di forza per gli arti inferiori o esercizi total body per circa 8-12 mesi. Sono stati riportati incrementi di forza a livello muscolare ma non livelli significativi di aumento del BMD.

Al contrario, tutti gli studi di correlazione trasversali, che hanno messo a confronto atlete donne o fisicamente attive con un gruppo di controllo rappresentato da donne sedentarie, hanno mostrato una correlazione positiva tra il livello di attività fisica e alcuni aspetti della mineralizzazione dell'osso.

Uno studio analizzato da Borer ha preso in considerazione la capacità aerobica nella popolazione femminile under 40 e ha trovato una significativa correlazione tra maggiore capacità aerobica e Bone Mineral Content (BMC, ovvero il contenuto di osso espresso in grammi su cm) dell'osso dell'avambraccio e del collo del femore.

Infine, due studi della stessa revisione hanno preso in esame popolazione femminile che praticano corsa. Nel primo hanno riscontrato un 7% in più di calcio corporeo totale nei runners tra i 42 e i 45 rispetto alle sedentarie. Nel secondo, è stato ritrovato una maggiore densità minerale ossea nell'osso del tallone nelle runners di 38 anni.

Dai risultati degli studi non è quindi chiaro se:

- alcuni degli esercizi proposti non erano specifici per il miglioramento della BMD, tali da non evidenziare dei cambiamenti;
- i protocolli sono stati avviati in età troppo avanzata o per un periodo insufficiente;
- l'accrescimento della massa ossea intorno ai 20 anni di età ha una velocità quasi massima tale da non permettere un aumento della stessa tramite stimoli esterni;
- gli studi longitudinali hanno mostrato risultati migliori in quanto hanno preso in considerazione atlete che hanno svolto attività sportiva per molti anni o perché presentano uno stile di vita più attivo.

ATTIVITA' FISICA SUL MANTENIMENTO DELLA MASSA OSSEA DOPO LA MENOPAUSA

Come accennato precedentemente la popolazione maggiormente esposta al rischio osteoporotico è quella delle donne in post-menopausa in quanto in questo periodo della vita si innescano processi endocrini che portano più facilmente alla demineralizzazione ossea.

Per questo motivo molti studi si concentrano su questi soggetti cercando di trovare una correlazione tra attività fisica e incremento/mantenimento del BMD.

La revisione di Borer precedentemente considerata ha selezionato ulteriori 23 studi sul mantenimento della massa ossea dopo la menopausa.

Una delle principali criticità, è il non aver preso in considerazione le condizioni ormonali e nutrizionali necessarie affinché i protocolli fossero veramente efficaci senza carenze di base.

Alcuni studi, seppur validi per alcuni aspetti, sono stati esclusi per i seguenti motivi: durata della formazione insufficiente, misurazione delle ossa in siti non sollecitati, dati incompatibili a causa del metodo di misurazione o del metodo di presentazione, descrizione qualitativa dei risultati, dati di correlazione ottenuti con indagini sull'attività epidemiologica.

Uno degli studi di maggior durata, 4 anni, ha verificato gli effetti nelle ossa dell'esercizio aerobico con una frequenza di 3 giorni a settimana. I risultati hanno fatto emergere che la popolazione che ha aderito allo studio, donne tra i 36 e i 65, ha riscontrato una diminuzione del tasso di perdita di BMD nel radio distale rispetto al gruppo di controllo.

Al contrario, studi di una durata minore, circa 16 settimane, non hanno portato benefici in termini di mineralizzazione dopo l'utilizzo di cicloergometro 3 giorni a settimana.

La caratteristica comune agli studi che hanno portato risultati migliori non è risultata tuttavia la frequenza degli allenamenti, bensì l'intensità e la durata prolungata del protocollo in termine di mesi/anni. Come unità di misura dell'intensità è stata valutata la FC_{max} ; quando lo sforzo superava il 90% della FC_{max} gli esercizi sono risultati più efficaci rispetto a esercizi di minore intensità.

I più promettenti sono stati 7 studi longitudinali che hanno utilizzato una combinazione di esercizi GRF (ground reaction force) e JRF (joint reaction force).

Nonostante il campione preso in esame in tutti gli studi risulti essere al di sotto del BMD di riferimento per la popolazione sana, il dato che emerge con più forza è che la diminuzione del BMD nei soggetti sottoposti ai protocolli rallenta o si arresta, e in alcuni casi, soprattutto in quelli con BMD di partenza più elevato, migliora.

Al contrario, nel gruppo di controllo sedentario, il BMD è risultato soggetto a perdite molto elevate. Quindi, nonostante le criticità insite in questo studio, date soprattutto dal campione esiguo e con osteoporosi avanzata, emergono sicuramente degli aspetti positivi in quanto i soggetti più attivi hanno ottenuto un rallentamento della perdita di massa ossea e in alcuni casi, seppur lieve, un miglioramento. Questo non è un dato da sottovalutare soprattutto per il rischio di fratture.

Uno degli studi analizzati che ha avuto ottimi risultati è quello condotto da Dalsky et al. che combinava un'elevata intensità e una diversa esposizione al carico. Sono state utilizzate attività GRF tra cui jogging, camminata in pista e salire le scale per la durata complessiva di 50-60 minuti, tre giorni alla settimana in soggetti di 62 anni. L'allenamento è stato svolto per un periodo di 9 mesi, e in un sottogruppo di soggetti per ulteriori 13 mesi, ad un'intensità che è stata progressivamente aumentata fino al 90% del consumo massimo di ossigeno. Il BMC è aumentato del 5,2% dopo 9 mesi ed è salito al 6,1% al di sopra del basale dopo 22 mesi. Tuttavia, dopo 13 mesi dalla fine del progetto, tutti gli aumenti di BMC sono regrediti alla linea di base.

Un altro simile al precedente condotto da Kohrt et al., utilizzando metodiche GRF per 11 mesi che includevano camminata, jogging e salire le scale per 45 minuti tre volte a settimana si è concentrato in esercizi a intensità più elevata fino all'85% della FC_{max} . Questo programma ha comportato un aumento della BMD del 2% per tutto il corpo, dell'1,8% per la colonna vertebrale e del 6,1% per il femore nelle donne in postmenopausa di 65-66 anni.

Lo studio di Ayalon et al. si distingue per l'attenzione concentrata sul caricamento di un sito scheletrico specifico per la prevenzione della frattura di Colles, molto frequente negli anziani dopo una caduta. Lo scopo dello studio era quello di utilizzare l'esercizio fisico per aumentare il BMD dell'avambraccio nelle donne osteopeniche e quindi ridurre il rischio di fratture di Colles. Sono stati progettati esercizi per caricare le ossa dell'avambraccio con sollecitazioni di trazione, compressione e flessione. Il programma

prevedeva 5 mesi di 3 sessioni settimanali composte da 15-20 minuti dedicati al carico dell'avambraccio e il resto del periodo di 50 minuti dedicati alla forza, allo stretching e ad altre forme di esercizio. Le donne erano osteopeniche, il che avrebbe potuto influenzare l'esito. L'allenamento ha prodotto un aumento del 3,8% del BMD del radio distale mentre il gruppo sedentario ha continuato a perdere minerale osseo.

In uno studio in cui l'allenamento contro resistenza progressivo è stato applicato unilateralmente al carico del braccio e della gamba, un protocollo di 1 anno ha prodotto aumenti significativi del BMD dell'1,7% al trocantere, del 2,3% al triangolo di Ward e del 2,4% al radio distale rispetto al lato non allenato.

Un altro studio ha impiegato un allenamento di forza e contro resistenza ad alto impatto 4 giorni alla settimana per 2 anni in un gruppo di donne in post-menopausa di 55 anni. L'allenamento includeva esercizi eccentrici, isometrici e concentrici con pesi liberi e attrezzature. La densità ossea è aumentata dell'1,3% al di sopra della linea di base, mentre il gruppo di controllo ha perso l'1,2%.

Risultati simili sono stati riportati da uno studio di Pruitt et al. che ha sottoposto ad un protocollo analogo un campione di donne tra i 53 e i 55 anni. In questi soggetti si è verificato un aumento dell'1,6% del BMD della colonna lombare rispetto a una perdita del 3,6% nei controlli sedentari. Lo stesso protocollo applicato in soggetti tra i 68 e 69 anni non ha portato cambiamenti significativi nella massa ossea lombare o dell'anca.

A sostegno di quanto detto finora, in uno studio, l'intensità di allenamento moderata e la frequenza ridotta non sono stati sufficienti per portare risultati significativi in termini di aumento di BMD in donne tra i 57 e 61 anni.

Revisionando gli studi condotti nel corso dei decenni è sicuramente evidente che l'incremento del BMD può essere difficile tramite esercizi di modesta intensità o ridotta frequenza, tuttavia, tramite protocolli adeguati, con osteoporosi in stadio non troppo avanzato, l'attività fisica che stimola il carico meccanico (per esempio contro resistenza) risulta essere un ottimo strumento per interrompere o comunque rallentare i processi di demineralizzazione ossea.

Altro fattore sicuramente da non sottovalutare è il miglioramento generale che l'attività fisica porta a tutto il corpo in termini di benefici; migliorando la forza, l'autonomia e l'equilibrio si riduce il rischio caduta e di conseguenza il numero di eventuali fratture negli anni.

Study	Age (y)	No. of subjects	Duration of training (y)	Volume of training	Intensity (%1RM)	Activity	Outcomes
Maddalozzo and Snow ^[70]	53-55	25E, 18C	1	3 d/wk 1.25h 10-13 reps, 3 sets 8 reps, 3 sets	40-60 75	JRF	↔BMD LS, FT BMD FT maint, vBMD FN
Chow et al. ^[94]	54-56	33E, 15C	1	3 d/wk 0.5h +0.25h	80% HR _{max} Lo	GRF GRF + JRF	BMD TB maint BMD TB maint
Pruitt et al. ^[42]	54-56	17E, 9C	9mo	3 d/wk 1 set, 8RM	M	JRF	↑BMD LS, vBMD FN
Kemmler et al. ^[94]	55	86E, 51C	14mo	4 d/wk 0.5-1.25h	80 80% HR _{max}	JRF + GRF	↑BMD LS, FN maint
Bassey et al. ^[95]	55-56	69E, 52C	5mo	6 d/wk	GRF = 4	GRF	↔BMD LS Fp
Grove and Londereel ^[11]	56-57	10E, 5C	1	3 d/wk, 1h	GRF >2.5 GRF <1.5	GRF, Hi GRF, M	BMD LS maint BMD LS maint
Kerr et al. ^[96]	56-58	28E, 28E	1	3 d/wk 3 sets, 20RM, 0.75h 3 sets, 8RM 0.25h	Lo Hi	JRF JRF	↑BMD FT, FWT, Rd ↑BMD RS
Hatori et al. ^[44]	58	21E, 12C	7mo	3 d/wk, 5h	>90% HR _{max} <90% HR _{max}	GRF GRF	↑BMD LS ↔BMD LS
Martin and Notelovitz ^[44]	57-60	36E, 19C	1	3 d/wk 0.5h 0.75h	70-85% HR _{max} 70-85% HR _{max}	GRF GRF	↔BMD LS, R, U BMD loss LS
Kirk et al. ^[44]	59	9E, 9C	7	59.5 km/wk	M-Hi	GRF	BMD LS maint
Preisinger et al. ^[44]	59-62	392E, 64C	1-5	3 d/wk 0.35h <1 h/wk	M Lo	GRF + JRF	BMD maint
Bravo et al. ^[44]	60	61E ^a , 63C ^a	1	3 d/wk, 1h	60-70% HR _r	GRF	↔BMD LS, FN
Kerr et al. ^[97]	60	84E, 42C	2	3 d/wk, 1h 8 reps, 3 sets 8RM + bike 8RM progressive	Lo Hi	JRF JRF	↔BMD LS ↑BMD FT
Nelson et al. ^[42]	60	18E, 18C	1	4 d/wk 0.93h	75-80 HR _{max}	GRF	BMD TB, LS, Rd maint, ↑BMD FN
Nelson et al. ^[71]	61	20E, 19C	1y	2 d/wk 0.75h 3 sets, 8RM	80	JRF	↑BMD LS, FN, BMD TB maint
Orwoll et al. ^[81]	61	27E, 27C	11	4.3 h/wk	Lo-M	Swimming	↔BMD LS RS
Dalsky et al. ^[42]	62	17E, 18C	9 and 22mo	3 d/wk, 1h	70-90% VO _{2max}	GRF	↑BMD LS
Ayalon et al. ^[54]	62-63	14E ^a , 26C ^a	5mo	3 d/wk	Hi	JRF (arms)	↑BMD forearm bones
Hartard et al. ^[44]	64-67	16E, 15C	6mo	2 d/wk, 10 reps, 4 sets	70	JRF	↔BMD LS, FN
Kohrt et al. ^[98]	65-66	27E, 12C	11mo	3.4 d/wk 0.75h 2 d/wk, 10 reps, 2-3 sets	80-85% HR _{max} 80-85% HR _{max}	GRF JRF + aerobic	↑BMD TB, LS, FN ↑BMD TB, LS
Pruitt et al. ^[44]	68	15E, 11C	1	3 d/wk, Hi, 7 reps, 2 sets 3 d/wk, Lo, 14 reps, 3 sets	80 40	JRF JRF	↔BMD LS, F ↔BMD LS, F
Rhodes et al. ^[93]	68-69	42E, 40C	1	3 d/wk, 1h, 8 reps, 3 sets	75	JRF	BMD maint
Gerdhem et al. ^[50]	75	974 E and C	25	Recollection		JRF + GRF	↔BMD TB, LS, FN, FT

a Subjects were osteoporotic.

BMD = bone mineral density; **C** = sedentary controls; **E** = exercising subjects; **F** = femur; **FN** = femoral neck; **Fp** = proximal femur; **FT** = femoral trochanter; **FWT** = femoral Ward's triangle; **GRF** = ground reaction force; **Hi** = high intensity; **HR_{max}** = maximal heart rate; **HR_r** = heart rate reserve; **JRF** = joint reaction forces; **Lo** = low intensity; **LS** = lumbar spine; **M** = moderate intensity; **maint** = maintained; **R** = radius; **Rd** = distal radius; **reps** = repetitions; **RM** = repetition maximum; **RS** = radial shaft; **TB** = total body; **U** = ulna; **vBMD** = volumetric BMD; **VO_{2max}** = maximum oxygen uptake; ↑ indicates increase; ↔ indicates no effect.

Figura 8 Gli effetti dell'esercizio fisico nelle donne in postmenopausa sull'accrescimento o il mantenimento osseo

PREVENZIONE E TRATTAMENTO DELL'OSTEOPOROSI NEGLI ANZIANI

In correlazione al rapido invecchiamento della popolazione contemporanea, si sono concentrate sempre maggiori energie per lo sviluppo di protocolli preventivi per fratture osteoporotiche nell'anziano. Sicuramente la consapevolezza che la densità minerale ossea può essere usata come indicatore di primario di rischio di fratture, molte ricerche hanno cercato di trovare correlazioni tra abitudini alimentari e stile di vita a questo valore così importante.

Le ricerche sperimentali e cliniche, suggeriscono che l'attività fisica può influenzare positivamente il BMD, rallentando la progressione dell'osteoporosi. tuttavia, i risultati non sono sempre concordi in questo risultato. Questo potrebbe essere comportato da studi non sempre completi, specializzandosi soprattutto in attività come la camminata e l'esercizio fisico, non considerando tipo le attività ricreative e domestiche, importanti nell'anziano.

Gli uomini non sono esenti da fratture osteoporotiche, rappresentando circa un terzo delle fratture totali nella popolazione geriatrica. Eppure, vi è un vuoto importante nella letteratura riguardo alla distribuzione e ai determinanti dell'osteoporosi nel genere maschile.

Una difficoltà indipendente dalla qualità degli studi o dal loro disegno è la dissezione degli effetti, dipendenti o indipendenti, delle variabili nello stile di vita, o di trovare una loro interazione. Si potrebbe incorrere ad errore nel pensare che la forza del quadricipite correlato positivamente alla BMD sia indipendente dallo stile di vita attivo o sedentario, dalle abitudini alimentari o dall'introduzione di calcio.

Nello studio di Nguyen et al. del 2010 (Osteoporosis in Elderly Men and Women: Effects of Dietary Calcium, Physical Activity, and Body Mass Index)⁹ si sono ricercato i fattori con una possibile influenza sulla densità minerale ossea nella popolazione anziana; è stato somministrato un questionario per ottenere informazioni in merito a stile di vita e abitudini alimentare, in seguito misurati valori come BMD, BMI, altezza e peso.

Sono stati analizzati i dati di 1075 donne e 690 uomini; l'età media era di $69,5 \pm 6,5$ anni (65-69 anni rappresentavano il 58% del campione).

9 Nguyen TV., Center JR., Eisman JA., Osteoporosis in elderly men and women: effects of dietary calcium physical activity and body mass index, Journal of Bone and Mineral Research, 2000, 15 Feb. (2), pp. 322-331

I valori di BMI nel campione erano normalmente distribuiti per entrambi i sessi con una media di $26 \pm 3,6$ kg/m² per gli uomini, quasi identica a quella delle donne ($25,4 \pm 4,6$ kg/m²). Sono emersi dati significativi: il calcio nel 75% dei casi era inferiore a 800mg/die, valore al di sotto di quello consigliato. La forza del quadricipite degli uomini era significativamente più alta rispetto a quella nelle donne (33kg rispetto a 20kg in media).

Il 26% delle donne e il 10% degli uomini presi in analisi erano osteoporotici secondo le indicazioni dell'OMS; la prevalenza era strettamente legata all'età. Nelle donne tra i 60-69 anni era il 14%, tra i 70-79 anni il 37%, sopra gli 80 anni il 61%; i dati erano simili agli uomini, rispettivamente 6%, 14% e 24%.

I fattori che influenzavano positivamente il BMD erano la forza del quadricipite, assunzione corretta di calcio e BMI. Gli uomini e le donne con una forza del quadricipite molto più bassa avevano un rischio maggiore di osteoporosi 3,7 e 2,3 volte rispetto a chi aveva una forza maggiore.

Ciascuno dei tre fattori di rischio (BMI, forza del quadricipite e assunzione di calcio nella dieta) è stato diviso in alto rischio (primo terzile) e basso rischio (secondo e terzo terzile).

Sia negli uomini che nelle donne il rischio osteoporosi era maggiore con due fattori di rischio e molto alta con i soggetti che presentavano tutti e tre i fattori di rischio.

Il 31% delle donne non aveva nessuno dei tre fattori di rischio e all'interno di questa percentuale l'osteoporosi era presente nel 12%. Nelle donne con un solo fattore di rischio relativo al basso apporto di calcio (15%) la percentuale rimaneva piuttosto contenuta, intorno al 13%. Nelle donne che al contrario, seppur con un solo fattore di rischio ma relativo o a magrezza o a debolezza del quadricipite (rispettivamente il 14% e il 13%) presentavano un rischio di osteoporosi molto più alto, rispettivamente 34% e 27%.

Il campione femminile, circa il 20%, presentava due fattori di rischio e la presenza di osteoporosi variava tra il 23% e il 50%. Quest'ultimo dato percentuale in corrispondenza di magrezza e basso apporto di calcio.

Nel piccolo campione che presentava tutti e tre i fattori di rischio, il 4,4%, la prevalenza di osteoporosi raggiungeva il 64%.

Si è concluso quindi che il determinante più forte per le donne fosse l'indice di massa corporea che rappresenta il 14% della varianza, seguito dall'età (10%). Meno significativa assunzione di calcio e quadricipite (1%).

Nel campione maschile, seppure in misura minore, i dati restano analoghi: infatti, negli uomini con nessun fattore di rischio, ovvero il 28,6% dei presi in esame, l'osteoporosi aveva un'incidenza molto bassa, circa l'1,5%. Questa percentuale aumentava negli uomini con due/tre fattori di rischio fino ad arrivare al 40% del campione.

Tabella Tabella 1. Caratteristiche dei soggetti dello studio

	<i>Maschi</i>	<i>femmine</i>	<i>p Valore</i>
Numero di soggetti	1075	690	
Età (anni)	69,1 ± 6,2	69,4 ± 7,0	0,302
Peso (kg)	78,3 ± 12,6	65,2 ± 12,5	<0,001
Altezza (cm)	173,4 ± 6,9	160,0 ± 6,3	<0,001
Indice di massa corporea (kg / m ²)	26,0 ± 3,6	25,4 ± 4,6	0,008
Forza quadricipite (kg)	33,2 ± 13,4	19,1 ± 8,0	<0,001
Assunzione di calcio alimentare mg/giorno	636 ± 338	642 ± 353	0,767
ln (mg/giorno) ^a	6,3 ± 0,6	6,3 ± 0,6	0,905
Indice di attività fisica	35,2 ± 8,9	30,8 ± 4,4	<0,001
BMD della colonna lombare (g / cm ²)	1,24 ± 0,20	1,03 ± 0,19	<0,001
Femorale collo BMD (g / cm ²)	0,92 ± 0,14	0,79 ± 0,13	<0,001

Tabella Tabella 5.. Prevalenza dell'osteoporosi per vari fattori di rischio

<i>magrezza</i> ^e	<i>Debolezza del quadricipite</i> ^b	<i>Basso apporto di calcio</i> ^c	<i>Prevalenza della popolazione</i> ^d (%)	<i>Percentuale con osteoporosi</i>
femmine				
No	No	No	30.7	11,8
No	No	sì	15.2	12.9
No	sì	No	13.2	26.8
No	sì	sì	8.0	23,3
sì	No	No	13.9	34.2
sì	No	sì	5.9	50.8
sì	sì	No	8.8	51.1
sì	sì	sì	4.4	63.8
Globale			100.0	25.8

Si è visto, quindi, come negli anziani la ricerca del determinante di una malattia complessa come l'osteoporosi i fattori di rischio non agiscono indipendentemente ma sono associati tra loro, influenzandosi.

La prevenzione, quindi, non dovrebbe considerare le variabili come BMI, calcio, attività fisica nel singolo, ma trovare uno stile di vita che riesca a migliorare la loro interazione, in quanto se combinati posso identificare una variabile clinicamente significativa.

Si è cercato di approfondire l'effetto dell'attività fisica attraverso il carico meccanico, essendo un valore modificabile: sebbene anche un breve periodo di immobilizzazione possa provocare una significativa perdita ossea, non è stato chiaro se l'esercizio possa realmente migliorare la composizione delle ossa in una popolazione anziana. Questo studio è riuscito a correlare la forza del quadricipite ad un valore più alto di BMI sia negli uomini che nelle donne.

Questo risultato è coerente con altri studi citati dall'articolo in cui alti livelli di attività fisica sono associati ad una maggiore densità ossea della falange, della colonna lombare, dei metacarpi, del radio, dell'ulna e dell'osso calcico.

Tuttavia, non bisogna tralasciare gli effetti ambientali né quelli genetici che contribuiscono agli stimoli portati dall'alimentazione e attività fisica sullo scheletro.

La forza del quadricipite e l'attività fisica si sono rivelati fattori utili per la prevenzione dell'osteoporosi nella popolazione geriatrica unitamente agli effetti fisiologici di un allenamento adeguato; questo, infatti andrebbe considerato non solo come un potenziamento dell'apparato muscolo scheletrico, ma anche come un miglioramento di altri fattori correlati come l'autonomia nelle ADL e l'equilibrio, rendendo l'anziano più sicuro nelle attività.

L'allenamento muscolare si può dividere in due categorie principali: allenamento per il miglioramento della resistenza e capacità aerobica, considerato il tempo che una persona può supportare un'attività faticosa, e allenamento della forza ovvero la capacità di generare forza attraverso l'attivazione muscolare.

L'allenamento può variare in intensità, frequenza, durata e modalità di esercizio, comportando effetti diversi. Un esercizio appropriato può alterare, rallentare o addirittura invertire parzialmente cambiamenti fisiologici legati all'età come sarcopenia, riduzione della massa magra e della forza.

I programmi si dividevano in due tipologie: allenamento di resistenza progressiva (PRT) e programmi di allenamento ad alta intensità. Il primo rappresentato nella tabella diviso in due fasi per un totale di 12 settimane, con un'intensità crescente e ripetizioni decrescenti; il secondo consisteva in un protocollo con intensità fissa all'80% del massimale (80% 1RM) e ripetizioni costanti per una durata di 12 settimane.

Periodo di formazione	Numero di ripetizioni	Intensità di allenamento
Settimane 4-8	3 serie da 8-10	60%-75% di 1 -RM ^a
Settimane 9-12	3 serie da 4-6	75%-90% di 1 -RM

un 1-RM=massimo una ripetizione.

Figura 9 esempio di programma di allenamento di resistenza progressiva

Gli studi hanno riportato come anche gli anziani in buona salute possano rispondere ad un allenamento di forza o resistenza in modo simile alle persone più giovani; tuttavia, spesso nella paura di esagerare, si utilizzano protocolli di allenamento con intensità troppo ridotta, non ottimale per indurre gli effetti desiderati.

Gli effetti riportati dall'allenamento possono essere molteplici. I più importanti, frutto di numerosi studi che hanno affrontato l'argomento in questione sono i seguenti:

- **Effetto sulla capacità ossidativa e sulla capillarizzazione:**
entrambi sono misura dell'adattamento del muscolo scheletrico nell'anziano. Sia l'allenamento di resistenza o di forza hanno riportato un aumento di questi fattori. Lo studio di Coggan et al. ha utilizzato un programma di resistenza: consisteva nel camminare o jogging per 45 minuti al giorno per tre volte a settimana, per la durata complessiva di 10 mesi. La densità dei capillari in questi partecipanti è aumentata del 20%, mentre il numero dei capillari per fibra muscolare è aumentato del 25%. Meredith et al. attraverso un protocollo di cicloergometria al 70% della frequenza cardiaca massima aggiustata per età per 45 minuti al giorno con frequenza di tre giorni alla settimana, hanno dimostrato che la capacità ossidativa dei muscoli era aumentata del 125%.

- Effetti sulla espressione della forza:

Harridge et al. hanno svolto uno studio su una popolazione molto anziana, età compresa tra 85 e 97 anni in un programma di allenamento muscolare del quadricipite femorale attraverso un protocollo di allenamento resistivo progressivo di 3 volte a settimana per 12 settimane. Durante la prima settimana di allenamento, i partecipanti hanno eseguito 3 serie di 8 estensioni del ginocchio con un carico del 50% del loro 1-RM. Nelle restanti settimane, i partecipanti hanno eseguito 3 serie di estensioni del ginocchio con un carico dell'80% del loro 1-RM. L'1-RM dei partecipanti è stato rivalutato e aggiustato ogni 2 settimane.

Alla fine del protocollo la produzione di forza del muscolo allenato era aumentata in media del 134%, mentre il loro CSA (diametro trasverso del muscolo) era aumentata del 10%.

- Effetti sulle caratteristiche dell'unità motoria:

l'aumento della forza maggiore in percentuale dell'aumento del diametro trasverso del muscolo, riporta al fatto che non vi siano adattamenti solo a livello muscolare ma anche neurale. Infatti, gli adattamenti neurali sono la fonte primaria dei guadagni di produzione di forza nelle prime otto settimane di allenamento, mentre il CSA viene coinvolto solo successivamente.

IL MONDO TRA DUE PANDEMIE: COVID-19 E INATTIVITÀ FISICA

Questo periodo storico è segnato da una grande sfida per il mondo tutto, la pandemia da Covid-19. Per cercare di limitare il più possibile l'avanzare del numero dei contagi, sono state applicate misure restrittive molto intense verso la popolazione: distanziamento e quarantena.

La mente ha cercato di adattarsi velocemente a questo cambiamento, considerandola una nuova “normalità” ma se da una parte queste misure hanno portato grandi benefici a livello di vite umane salvate, d'altro lato sta mostrando e incentivando sempre più comportamenti tossici per l'organismo come l'inattività fisica e un atteggiamento sedentario.

Hall G et al¹⁰, molto recentemente hanno condotto uno studio sui possibili effetti dell'inattività fisica conseguenziale alla pandemia da Covid-19. In questo studio si considera inattività fisica un tempo di esercizio al di sotto delle linee guida che lo consigliano per almeno 150 minuti di intensità moderata a settimana.

La situazione pre-pandemia non mostrava sicuramente ottime premesse in termini di attività fisica e sedentarietà: nella popolazione con età pari a 15 anni o superiore, il 31% era rappresentato da persone fisicamente inattive, dato correlato ad una spesa umana di 3,2 milioni di decessi all'anno dovuti proprio a questo stile di vita. Solo nel 2013, la spesa sanitaria mondiale per il trattamento conservativo di persone con stile di vita inattivo è stata di 58,8 miliardi di dollari, come indica uno studio condotto da Ding et al. .

Come anticipato, la pandemia da Covid-19 ha limitato di molto i servizi pubblici e privati per l'adesione ad uno stile di vita attivo, come la chiusura di parchi, palestre, impianti sportivi, fino alla rinuncia all'educazione fisica nelle scuole. Il confinamento delle persone nei propri domicili, spesso non sufficientemente grandi, condivisi in più persone e senza la fruibilità di uno spazio esterno ha creato maggiore difficoltà nello svolgere attività sportiva, creando le basi per uno stile di vita sedentario (ma vi è stata anche una grande percentuale di popolazione che pur di fare attività fisica si è “reinventata” in casa trasformando oggetti di uso comune in attrezzature sportive, o seguendo corsi online ecc.)

10 • Hall G, Laddu DR, Phillips SA, Lavie CJ, Arena R. A tale of two pandemics: How will COVID-19 and global trends in physical inactivity and sedentary behavior affect one another? *Progress in Cardiovascular Diseases*. 2021 Jan-Feb;64:108-110.

I diversi studi presi in considerazione dalla revisione di Hing hanno mostrato una grande correlazione tra isolamento e inattività fisica, portando a conseguenze disastrose per la salute in ogni fascia di età. Uno degli aspetti più allarmanti che viene messo in evidenza è sicuramente la stretta correlazione tra un atteggiamento sedentario (e quindi maggiore probabilità di sopraggiungere o aggravarsi di malattie croniche) e il rapporto tra sintomi gravi da covid-19.

Il pericolo reale che si profila, valutando la situazione in prospettiva, potrebbe essere quello di inserirsi in un circolo vizioso, dove i comportamenti sedentari, peggiorati dalla attuale e dalle future pandemie, porteranno ad una popolazione sempre più fragile ed a rischio ospedalizzazione. È ormai infatti ben noto che statisticamente gli effetti peggiori dell'infezione da covid-19 avvengono in situazioni di base che presentano comorbidità.

Nello studio, la sedentarietà viene trattata come una vera e propria pandemia, che, attualmente, si somma alla pandemia attuale da covid-19. Il mondo quindi si trova a vivere una sorta di “doppia pandemia”, quella appunto da Covid-19 e quella definita PI/SB (physical inactivity/sedentary behavior). La prima, destinata a rientrare, la seconda, più subdola ma non meno grave, destinata a durare e, paradossalmente, potenzialmente responsabile e promotrice di ulteriori pandemie più aggressive a causa del tendenziale indebolimento della popolazione. In termini economici questo si traduce in una spesa sanitaria in costante crescita.

La risposta, in termini di misure di prevenzione e contenimento per evitare la diffusione del covid-19, è stata drastica e veloce; nel giro di pochi giorni, in alcuni casi nel giro di qualche ora, il mondo intero ha cambiato il proprio stile di vita e le proprie norme sociali per far fronte a questo nuovo pericolo.

La sedentarietà e l'inattività fisica sono, al contrario, fattori che normalmente vengono ancora sminuiti e non trattati nella maniera adeguata quando in realtà, incentivare il movimento e l'esercizio fisico potrebbe essere uno dei migliori investimenti a lungo termine per la salvaguardia e il miglioramento della salute della popolazione, sia in condizioni normali che in prospettiva di future pandemie.

A subirne maggiormente le conseguenze sono stati sicuramente bambini e anziani. Ciò che può risultare preoccupante a lungo termine è l'effetto che questa sedentarietà a lungo termine possa portare nella popolazione: a fronte di una popolazione sempre più inattiva e fragile e all'inevitabile reiterarsi di nuove pandemie, quale sarà la risposta dei governi?

Incentivare il movimento e comprendere che uno stile di vita attivo e sano non può essere considerato un “accessorio” all’interno di un progetto ampio e a lungo termine di salute pubblica sia in una situazione normale sia in prospettiva di future pandemie.

DISCUSSIONE

Il presente lavoro è stato redatto con lo scopo di approfondire il grande potenziale dell'attività fisica e dell'esercizio preventivo per migliorare le problematiche legate alla salute dell'osso.

Alla luce del lavoro svolto, lo stato dell'arte sull'utilizzo di protocolli di esercizi per il miglioramento della massa ossea o per il rallentamento della demineralizzazione è piuttosto datato: molti studi citati nelle revisioni, nonostante siano state redatte negli anni 2000, sono stati effettuati tra gli anni '80 e '90.

Problematica sicuramente da non sottovalutare è l'esiguo numero di persone sottoposte ai protocolli. Infatti, spesso, in molti studi, manca di un campione significativo tale da poter essere preso in considerazione per fini statistici.

Un ulteriore limite è la discutibile qualità e specificità degli esercizi a cui le persone coinvolte sono state sottoposte: in molti casi i risultati o i miglioramenti non sono riscontrabili proprio per la bassa intensità o frequenza degli esercizi fisici che venivano proposti. Protocolli con due/tre allenamenti a settimana di bassa intensità e durata non possono essere presi come riferimento sicuro.

Tuttavia, gli effetti dell'attività fisica ed in generale, la conduzione di una vita attiva e poco sedentaria sono fattori che, nella prevenzione dell'osteoporosi, unitamente ad altri fattori come un corretto stile alimentare¹¹, risultano evidenti in tutti gli studi presi in considerazione. Infatti, in generale, tra i soggetti presi in esame, la demineralizzazione dell'osso risulta molto più lenta nel campione che tendenzialmente ha condotto una vita attiva da sempre, così come, la densità ossea, a parità di età risulta più alta in questi stessi soggetti. Le analisi condotte sulla BMD dimostrano ampiamente questa correlazione tra vita attiva e conseguente minor rischio fratture e fragilità ossea.

In età pediatrica e prepuberale numerosi studi hanno fornito dati significativi soprattutto per quanto riguarda l'incremento del minerale e sulla geometria ossea in molti siti, con particolare riferimento ad anca e colonna lombare.

11 Che in questa sede non sono stati approfonditi per rimanere attinenti all'ambito dell'esercizio preventivo.

Nei soggetti presi in esame nei diversi studi, la massa ossea dei bambini e adolescenti fino ai 15 anni di età che praticano sport, sia individuali che di squadra, o che conducono una vita attiva, è risultata in tutti gli studi maggiore fino al 16% in più rispetto ai coetanei più sedentari, con picchi fino al 20%. In molti casi, i protocolli si basavano sull'attività fisica condotta a scuola, incrementata con esercizi osteogenici come il salto e l'esercizio contro resistenza. Gli studi finora condotti ci mostrano quindi in maniera certa quanto l'attività fisica pediatrica possa dare benefici a lungo termine in termini di mineralizzazione e microarchitettura ossea e quanto una vita attiva fin da piccoli sia indispensabile per avere una buona salute ossea anche da adulti.

Lo scheletro, infatti si sviluppa rapidamente durante l'infanzia, la pubertà e l'adolescenza, raggiungendo le sue dimensioni e densità minerale massimali intorno ai 25 anni di età. Una crescita ossea non ottimale nelle prime fasi della vita è rischiosa quanto la perdita di massa ossea in età adulta. La prevenzione primaria dell'osteoporosi è essenziale durante l'infanzia e l'adolescenza momento fondamentale per la costruzione del tessuto osseo e raggiungimento del picco di massa ossea. A questo fine risultano molto importanti anche i fattori modificabili ambientali coinvolti nello sviluppo osseo, *in primis*, come già accennato, l'alimentazione che deve essere varia ed equilibrata con un adeguato apporto di calcio e vitamina D, come consigliato dalle linee guida del Ministero della Salute; in caso di carenze gravi, si potrebbe consultare un medico per una possibile integrazione.

Per quanto riguarda la prevenzione dell'osteoporosi nelle donne in età fertile le evidenze suggeriscono all'unanimità che un'attività fisica regolare, soprattutto nella fase della premenopausa aiuta la formazione di nuovo tessuto osseo nonché il rafforzamento muscolare con conseguente miglioramento dello stato di salute generale. Nelle donne la perdita di massa ossea inizia all'incirca intorno ai 40 anni interessando in primo luogo il femore, poi, la colonna vertebrale intorno ai 50 anni. Gli studi presi in considerazione hanno mostrato risultati molto differenti in base al tipo di protocollo somministrato ed alla metodologia utilizzata (studi longitudinali e RCT) poiché alcuni limitati sia per durata che per intensità: alcuni protocolli che hanno puntato ad un incremento della forza negli arti inferiori non hanno prodotto risultati significativi, probabilmente a causa della scarsa efficacia degli esercizi proposti.

Un dato significativo emerso dagli studi è sicuramente la differenza marcata che appare tra le donne che praticano diversi tipi di sport. Le atlete dedite alla corsa, al salto, agli sport di

squadra come calcio, basket, pallavolo e al sollevamento pesi mostrano un elevato valore di BMD nei siti specifici presi in esame (femore e colonna vertebrale) al contrario della stessa tipologia di popolazione, ugualmente sportiva, che pratica discipline diverse come nuoto, canottaggio, ciclismo, pattinaggio.

Anche gli studi di correlazione trasversali hanno determinato dei risultati significativi. Mettendo a confronto atlete o donne fisicamente attive con un gruppo di controllo sedentario si è potuta riscontrare una correlazione positiva tra il livello di attività fisica, BMC e densità minerale ossea.

Restano sicuramente alcune questioni da approfondire. Questa categoria merita un interesse particolare per quanto riguarda la prevenzione: si stima che l'80% della popolazione colpita da osteoporosi sia composta da donne in menopausa e pertanto, bisognerebbe intervenire prima che questa si manifesti. Come già accennato precedentemente la donna nel corso della vita va incontro a numerosi cambiamenti a livello endocrino che vanno ad intaccare la massa ossea. Tuttavia, gli studi mostrano con chiarezza come nelle donne che svolgono attività sportiva ed uno stile di vita sano la densità minerale ossea sia maggiore rispetto alla controparte meno attiva. Tra i molteplici fattori che possono influenzare la massa ossea di una donna ce ne sono alcuni che meritano un accenno in quanto modificabili. Gli studi mostrano che il fumo, l'alcool e la magrezza eccessiva (spesso associata a patologie come l'anoressia) hanno effetti importanti sulla perdita di massa ossea. Una meta-analisi del 1997 condotta da Law e Hackshaw¹² ha mostrato che donne fumatrici avevano una probabilità del 50% in più di frattura del bacino.

Come dicavamo la popolazione maggiormente esposta al rischio osteoporotico è quella delle donne in post-menopausa per l'innescamento di processi endocrini che portano ad una veloce e repentina demineralizzazione. Gli studi si sono molto concentrati su questa fascia di popolazione volta alla prevenzione e al miglioramento della massa ossea, tuttavia, all'interno delle revisioni prese in esame alcuni studi non sono stati presi in considerazione in quanto non possedevano i criteri di inclusione. Tendenzialmente gli studi hanno mostrato i migliori risultati quando l'allenamento risultava duraturo nel tempo e ad intensità elevate. Le donne sottoposte ai protocolli spesso avevano già una situazione di demineralizzazione/osteoporosi importante e il dato che fa riflettere è sicuramente come

12 Law MR, Hackshaw AK: A meta-analysis of cigarette smoking, bone mineral density and risk of hip fracture: recognition of a major effect. *BMJ* 1997; 315: 841-6.

l'adesione ai programmi di esercizi nella maggior parte dei casi non portava miglioramenti strabilianti in termini di aumento di massa ossea ma in termine di rallentamento. Infatti, la differenza più significativa tra donne in menopausa attive e sedentarie è proprio la velocità con cui le ossa perdevano minerale: a fronte di lievi miglioramenti, arresto o rallentamento nelle donne sottoposte ad esercizi, le donne sedentarie perdevano massa ossea a velocità sorprendente. Un dato molto utile questo, per prevenire il rischio fratture.

Risultati ancora più promettenti sono stati raggiunti con protocolli di esercizi mirati ai siti specifici e conseguente aumento di BMD, di pari passo ad una perdita molto veloce negli stessi siti nel campione di controllo. È bene tuttavia specificare che le evidenze mostrano anche che agire precocemente è fondamentale per avere dei buoni risultati: nelle donne al di sotto dei 60 anni generalmente gli effetti dei protocolli risultavano più marcati e più efficaci rispetto alla controparte over 60 che al contrario, non registrava cambiamenti significativi. Questo ci mostra come il tempismo sia fondamentale per questo tipo di interventi.

Nelle donne in menopausa quindi, l'incremento della BMD può essere difficile se ricercato tramite esercizi di modesta intensità o ridotta frequenza, ma attraverso protocolli adeguati, con osteoporosi in stadio non troppo avanzato, l'attività fisica che stimola il carico meccanico (per esempio contro resistenza) risulta essere un ottimo strumento per interrompere o comunque rallentare i processi di demineralizzazione ossea.

Un'altra categoria presa in considerazione è la popolazione anziana, uomini e donne, anche in correlazione all'innalzarsi dell'età media. Proprio per questo motivo molti studi si sono concentrati sullo sviluppo di protocolli preventivi per fratture osteoporotiche nell'anziano, molto rischiose sia in termini di mortalità che di disabilità motoria. Ancora una volta le ricerche convergono sull'influenza che uno stile di vita sano e attivo può avere sul rallentamento della progressione dell'osteoporosi.

La letteratura non è particolarmente aggiornata è l'osteoporosi maschile. Nella popolazione geriatrica maschile circa un terzo delle fratture totali sono fratture da osteoporosi, ma, come dicevamo, spesso questa patologia viene associata prevalentemente alle donne.

Uno studio molto interessante sulla popolazione ha preso in considerazione un campione di più di 1700 persone tra uomini e donne di un'età media di 70 anni circa.

Analizzando la presenza di vari fattori di rischio per l'insorgenza dell'osteoporosi come BMI, assunzione di calcio, indice di attività fisica e forza del quadricipite si è visto come i

soggetti che presentavano due o più fattori di rischio erano più soggetti all'insorgenza di osteoporosi, raggiungendo percentuali importanti quando vi era la compresenza di fattori di rischio quali eccessiva magrezza (quindi basso BMI), carenza di calcio e forza del quadricipite. Ovviamente anche l'età è un fattore determinante ma, a livello statistico, le percentuali più preoccupanti per rischio osteoporosi e quindi rischio cadute sono riferibili agli anziani che presentano eccessiva magrezza.

CONCLUSIONI

In conclusione, alla luce dei dati analizzati, risulta fondamentale preservare la salute delle proprie ossa a partire dall'età pediatrica, attraverso una vita attiva e il meno possibile sedentaria. Nello specifico, gli sport organizzati e l'attività fisica che comprendevano il carico meccanico sull'apparato osseo, hanno ottenuto i maggiori risultati in termini di incremento della densità minerale ossea nel tempo.

Nella popolazione femminile si è visto come l'influenza dell'apparato endocrino abbia un ruolo decisivo nella qualità dell'osso: corsa, salto, atletica, calcio basket, pallavolo, tennis e sollevamento pesi, sono risultati gli sport maggiormente consigliabili per la prevenzione di una futura possibile osteopenia nel periodo pre-menopausale. Nel periodo post-menopausale i fattori più rilevanti sul rallentamento della perdita ossea sono intensità e durata nel tempo dell'allenamento: le donne che aderivano a protocolli con frequenza di 3 o più volte a settimana per numerosi mesi hanno ottenuto risultati migliori rispetto alla controparte più sedentaria.

Nella terza età si è trovata una forte correlazione tra la forza muscolare espressa, la dieta ed i livelli di BMD. Ovviamente in questi soggetti sono numerose le variabili che possono indurre cambiamenti sulla qualità dell'osso, ma gli studi revisionati hanno portato risultati promettenti sull'attività fisica nel rallentare l'evolversi dell'osteoporosi.

BIBLIOGRAFIA

AA.VV., Rep Atti n. 105, 10 maggio 2018, “Una strategia d’intervento per l’osteoporosi”

Borer, K.T. Physical Activity in the Prevention and Amelioration of Osteoporosis in Women. *Sports Med* 35, 779–830 (2005).

Ding D., Lawson KD, Kolbe-Alexander TL L'onere economico dell'inattività fisica: un'analisi globale delle principali malattie non trasmissibili. *La Lancetta*. 2016; 388 (10051): 1311–1324).

Ettore R., Olmo C. et al, *Biologia, cellula e tessuti*. Seconda edizione, edi-ermes 2014, pp. 499-530.

Glenn N Williams, Michael J Higgins, Michael D Lewek, Aging Skeletal Muscle: Physiologic Changes and the Effects of Training, *Physical Therapy*, Volume 82, Issue 1, 1 January 2002, Pages 62–68.

Gualano MR., Sferrazza A., Cadeddu C. de Waure C., La Torre G., Ricciardi W., Epidemiologia dell’osteoporosi post-menopausale nel mondo e in Italia, *Italia Journal of public health*, 2011, 8 (suppl 2) capitolo 1, S3-S22.

Hall G, Laddu DR, Phillips SA, Lavie CJ, Arena R. A tale of two pandemics: How will COVID-19 and global trends in physical inactivity and sedentary behavior affect one another? *Progress in Cardiovascular Diseases*. 2021 Jan-Feb;64:108-110.

Nguyen TV., Center JR., Eisman JA., Osteoporosis in elderly men and women: effects of dietary calcium physical activity and body mass index, *Journal of Bone and Mineral Research*, 2000, 15 Feb. (2), pp. 322-331.

Petra Wiedmer, Tobias Jung, José Pedro Castro, Laura C.D. Pomatto, Patrick Y. Sun, Kelvin J.A. Davies, Tilman Grune, Sarcopenia – Molecular mechanisms and open questions, *Ageing Research Reviews*, Volume 65, 2021.

Rossini M. et al., linee guida per la diagnosi, la prevenzione ed il trattamento dell'osteoporosi, *Reumatismo*, 2016; 68(1); pp. 1-42.

Siegal J., *Aging into 21st century*, Washington DC: dept of health and human services, Administration on aging, National aging information center, May 31, 1996. NAIC 30.

Weaver CM, Gordon CM, Janz KF, et al. The National Osteoporosis Foundation's position statement on peak bone mass development and lifestyle factors: a systematic review and implementation recommendations. *Osteoporosis International : a Journal Established as Result of Cooperation Between the European Foundation for Osteoporosis and the National Osteoporosis Foundation of the USA*. 2016 Apr; 27(4):1281-1386.