



UNIMORE

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI
MODENA E REGGIO EMILIA

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MODENA E REGGIO EMILIA

FACOLTÀ DI MEDICINA E CHIRURGIA

Corso di Laurea Magistrale in Medicina e Chirurgia

Dipartimento di Scienze Mediche e Chirurgiche Materno-Infantili e dell'Adulto

Unità Operativa di Ortopedia e Traumatologia – Ospedale Policlinico di Modena

**PROTESI INVERSA NAVIGATA DI SPALLA:
STUDIO BIOMECCANICO MEDIANTE
SENSORI INERZIALI SUL CONTRIBUTO
ARTICOLARE DELLA SCAPOLA TORACICA
NELL'ARCO DI MOVIMENTO GLOBALE**

Relatore:

Chiar.mo Prof. Luigi Tarallo

Tesi di laurea di:

Federico Muratori

Anno Accademico 2025-2026

Abstract

Introduzione. L'artroplastica totale inversa di spalla altera in modo sostanziale la cinematica del ritmo scapolo-omerale, determinando in una percentuale dei pazienti una modifica dello schema di attivazione del cingolo scapolare al fine di ripristinare un'elevazione dell'arto idonea a permettere i principali movimenti di vita quotidiana. Il ruolo del compenso scapolo-toracico e i suoi limiti intrinseci costituiscono un ambito di indagine recente, la cui comprensione può fornire allo specialista ortopedico un vantaggio nell'individuazione dei soggetti più propensi a maturare risultati - dal punto di vista dell'escursione articolare - meno soddisfacenti, prevenendo in tal modo lo sviluppo di compensi sbagliati tramite una selezione mirata degli esercizi riabilitativi, sia nel pre, che nel post-operatorio.

Scopo. Verificare e quantificare l'entità del compenso scapolo-toracico in pazienti sottoposti ad artroplastica inversa di spalla con tecnica navigata (nRTSA), confrontando il comportamento scapolare di soggetti con diverso esito di escursione articolare post-operatoria. A tal fine l'indagine si è articolata su più livelli: l'analisi globale delle curve cinematiche; il confronto statistico tra i due gruppi di escursione articolare condotto alle ampiezze omerali crescenti di 30°, 60° e 90°; infine, la valutazione dell'influenza esercitata da alcune variabili cliniche e demografiche, potenzialmente in grado di spiegare parte della variabilità degli outcome osservati.

Materiali e metodi. Sono stati arruolati 33 pazienti (17 femmine, 16 maschi) sottoposti a protesi inversa di spalla dal medesimo operatore tra la fine di gennaio 2024 e la prima metà di gennaio 2026; in tutti i casi ci siamo serviti di un impianto Equinoxe® Reverse Shoulder System (Advita) e sistema di navigazione AdvitaGPS®. La valutazione clinica post-operatoria (avvenuta tra marzo e aprile 2026) ha incluso i questionari Constant-Murley Score e QuickDASH, il grado di soddisfazione e il numero di sedute di fisioterapia. L'analisi cinematica tridimensionale della scapolo-omerale e della scapolo-toracica è stata condotta mediante sensori inerziali Showmotion™, capaci di analizzare e scomporre il movimento scapolare nei tre piani — protrazione/retrazione, rotazione up/down e tilt anteriore/posteriore — durante i quattro movimenti principali concessi della spalla: flessione-estensione, abduzione-adduzione, extrarotazione a braccio addotto e rotazione con braccio addotto a 90°. I pazienti sono stati suddivisi in due gruppi sulla base

dell'escursione articolare raggiunta (escursione articolare soddisfacente, n=20; escursione articolare limitata, n=13).

Risultati. Il confronto delle curve cinematiche tra i due gruppi ha evidenziato una differenza statisticamente significativa per tutti e quattro gli esercizi e in tutti e tre i piani scapolari, a conferma di un diverso pattern di compenso scapolo-toracico tra i soggetti con buon recupero articolare e quelli con escursione articolare limitata. Il confronto statistico tra i due gruppi di range di movimento, condotto per ciascun esercizio alle ampiezze omerali crescenti di 30°, 60° e 90°, ha confermato tali differenze e messo in mostra modelli significativi in cui si nota un notevole coinvolgimento della componente scapolo-toracica. Le variabili demografiche e cliniche considerate (sesso, età, soddisfazione, epoca di inizio della fisioterapia e numero di sedute) non sono risultate statisticamente significative.

Conclusioni. I pazienti con diverso esito di escursione articolare presentano profili di movimento scapolo-toracico significativamente differenti lungo l'intero arco del movimento. La caratterizzazione del compenso scapolare mediante analisi cinematica tridimensionale può quindi rappresentare uno strumento utile per individuare soggetti a rischio di un recupero lento e insoddisfacente, orientandoli quanto prima verso un percorso riabilitativo personalizzato.

Parole chiave. Artroplastica totale inversa di spalla, ShowMotion™, cinematica scapolare, cinematica gleno-omeroale, escursione articolare, qualità di vita.

1. INTRODUZIONE.....	4
1.1 Anatomia della Spalla	4
<i>1.1.1 Scapola.....</i>	<i>5</i>
<i>1.1.2 Omero</i>	<i>6</i>
<i>1.1.3 Muscoli e legamenti</i>	<i>7</i>
<i>1.1.4 Vascolarizzazione.....</i>	<i>11</i>
<i>1.1.5 Innervazione.....</i>	<i>12</i>
1.2 Biomeccanica della spalla.....	13
<i>1.2.1 Movimenti principali dell'articolazione gleno-omeroale</i>	<i>13</i>
<i>1.2.2 Ruolo dell'articolazione scapolo-toracica.....</i>	<i>15</i>
<i>1.2.3 Stabilità articolare e meccanismi di centraggio</i>	<i>17</i>
2. SCOPO DELLO STUDIO	19
3. MATERIALI E METODI.....	22
3.1 Arruolamento dei pazienti.....	22
3.2 Tecnica chirurgica.....	23
<i>3.2.1 Fase preoperatoria</i>	<i>23</i>
<i>3.2.2 Planning chirurgico.....</i>	<i>23</i>
<i>3.2.3 Procedura operatoria</i>	<i>24</i>
<i>3.2.4 Post-operatorio.....</i>	<i>32</i>
3.3 Score clinici funzionali.....	33
<i>3.3.1 Constant Shoulder Score (CSS)</i>	<i>33</i>
<i>3.3.2 QuickDASH (Disabilities of the Arm, Shoulder and Hand)</i>	<i>35</i>
3.4 Sensori inerziali Showmotion™	38
<i>3.4.1 Posizionamento dei sensori e setup strumentale</i>	<i>38</i>
<i>3.4.2 Calibrazione statica e dinamica</i>	<i>40</i>
<i>3.4.3 Protocollo di esecuzione degli esercizi</i>	<i>41</i>

3.4.4 Lettura e interpretazione dei grafici	42
4. RISULTATI	43
4.1 Convenzioni di misura e definizioni delle variabili.....	43
4.2 Analisi globale delle curve scapolo-toraciche	44
4.2.1 Esercizio 1 — Flesso-estensione (H-FlEx)	45
4.2.2 Esercizio 2 — Abduzione-adduzione (H-AbAd).....	48
4.2.3 Esercizio 3 — Extrarotazione (H-IRER 0).....	51
4.2.4 Esercizio 4 — Intrarotazione (H-IRER 90).....	54
4.3 Analisi tra componente gleno-omeroale e compenso scapolo-toracico nel confronto tra ROM buono e ROM limitato	57
4.3.1 Esercizio 1 — Flesso-estensione.....	58
4.3.2 Esercizio 2 — Abduzione-adduzione.....	61
4.3.3 Esercizio 3 — Extrarotazione	65
4.3.4 Esercizio 4 — Intrarotazione	66
4.4 Influenza delle variabili cliniche e demografiche.....	69
4.5 Sintesi dei risultati	71
5. DISCUSSIONE	72
5.1 Valutazione complessiva delle curve e analisi associate	72
5.1.1 Un pattern globale che discrimina i due gruppi.....	73
5.1.2 Lettura dei singoli esercizi e confronto con il pattern fisiologico	74
5.2 Confronto delle coorti con diverso ROM e schemi riscontrati.....	75
5.2.1 Pattern condivisi dai due gruppi	75
5.2.2 Differenze ricorrenti del gruppo a ROM limitato	76
5.2.3 Conseguenze sul piano muscolare	77
5.3 Considerazioni generali sulle variabili demografiche	78
5.3.1 ROM, attività quotidiane e sesso dei pazienti.....	78
5.3.2 L'impatto della fisioterapia	81

5.3.3 <i>Il paradosso (apparente) tra soddisfazione e ROM post-operatorio</i>	83
5.4 Fattori protesici e del paziente nella determinazione del movimento	85
5.5 Una curva di normalità per pazienti protesizzati	86
5.6 Limiti dello studio	87
5.6.1 <i>Possibili implicazioni del lato operato</i>	87
5.6.2 <i>Fisiologiche limitazioni di movimento</i>	88
5.6.3 <i>Ulteriori cautele e prospettive future</i>	88
6. CONCLUSIONI	90
7. BIBLIOGRAFIA	93

1. INTRODUZIONE

1.1 Anatomia della Spalla

La spalla rappresenta l'articolazione che collega l'arto superiore allo scheletro assile e costituisce la struttura anatomica più mobile dell'intero corpo umano. Tale straordinaria ampiezza di movimento è resa possibile da una serie di fattori interdipendenti: la particolare conformazione geometrica delle superfici articolari, la lassità relativa delle strutture capsulo-legamentose, la potenza e la coordinazione dei gruppi muscolari periartricolari.

Dal punto di vista anatomo-funzionale, la spalla non deve essere intesa come un'unica entità articolare, bensì come un sistema complesso, denominato *complesso articolare della spalla*, composto da cinque articolazioni distinte che operano in maniera sinergica e coordinata. Tali articolazioni sono convenzionalmente suddivise in due gruppi funzionali.

Il primo gruppo comprende le cosiddette articolazioni “vere”: la gleno-omeroale, principale articolazione del complesso della spalla in senso anatomico, la sterno-claveare, situata all'estremità mediale della clavicola, e l'acromion-claveare, posta lateralmente tra acromion e clavicola. Il secondo gruppo include invece le cosiddette “articolazioni false”, rappresentate dalla scapolo-toracica e dallo spazio sub-acromiale, le quali, pur non configurandosi come articolazioni in senso anatomico, svolgono un ruolo fondamentale dal punto di vista funzionale, risultando strettamente integrate nella dinamica complessiva del cingolo scapolare.

In ciascuno dei due gruppi le articolazioni sono meccanicamente coordinate, ovvero funzionano obbligatoriamente in modo sincrono; i due gruppi operano simultaneamente, secondo proporzioni variabili nel corso dei diversi movimenti.

La spalla possiede tre gradi di libertà che consentono l'orientamento dell'arto superiore nei tre piani dello spazio. Ciò è reso possibile da tre assi principali di movimento: l'**asse trasversale**, contenuto nel piano frontale, che permette i movimenti di flesso-estensione nel piano sagittale; l'**asse antero-posteriore**, contenuto nel piano sagittale, che consente i movimenti di abduzione e adduzione nel piano frontale; e l'**asse verticale**, determinato dall'intersezione del piano sagittale con quello frontale, che permette i movimenti di flesso-estensione orizzontale, eseguiti con il braccio in abduzione a 90 gradi.

1.1.1 Scapola

La scapola è un osso piatto di forma triangolare situato nella regione postero-superiore del torace. Rispetto alla posizione anatomica di riferimento, essa si estende verticalmente dalla seconda alla settima costa, con l'angolo supero-interno in corrispondenza della prima vertebra dorsale e l'estremità interna della spina scapolare proiettata a livello della terza vertebra dorsale. Il margine interno, o spinale, dista circa 5-6 centimetri dalla linea delle apofisi spinose.

La faccia anteriore, o costale, della scapola è concava e prende il nome di *fossa sottoscapolare*; su di essa origina il muscolo sottoscapolare, componente fondamentale della cuffia dei rotatori. La faccia posteriore è suddivisa dalla spina della scapola in due fosse: la *fossa sovraspinata*, situata superiormente, che accoglie il muscolo sovraspinato, e la *fossa sottospinata*, situata inferiormente, che ospita il muscolo sottospinato. La spina della scapola è un'ampia lamina ossea orizzontale che prosegue lateralmente nell'acromion, processo di particolare rilevanza clinica in quanto forma il tetto dell'articolazione gleno-omeroale e contribuisce alla delimitazione dello spazio subacromiale.

L'angolo supero-laterale della scapola presenta la *cavità glenoidea*, una superficie articolare di forma ovoidale orientata lateralmente, anteriormente e leggermente verso l'alto, sulla quale si articola la testa dell'omero. La cavità glenoidea è circondata dal bordo glenoideo, interrotto anteriormente dal solco glenoideo, e la sua concavità è accentuata dal cercine fibrocartilagineo detto *labbro glenoideo*. Superiormente alla cavità glenoidea si trova il tubercolo sovraglenoideo, punto di origine del capo lungo del muscolo bicipite brachiale — struttura intra-capsulare; inferiormente, il tubercolo sottoglenoideo dà origine al capo lungo del muscolo tricipite brachiale, extra-capsulare.

Il processo coracoideo è una proiezione ossea che si porta anteriormente e lateralmente dall'angolo supero-laterale della scapola. Esso costituisce il punto di inserzione del muscolo piccolo pettorale e dei muscoli coraco-brachiale e capo breve del bicipite; rappresenta inoltre il punto di ancoraggio dei legamenti coraco-acromiale e coraco-clavicolare. Insieme all'acromion e al legamento coraco-acromiale, il processo coracoideo delimita anteriormente l'arco coraco-acromiale, struttura di fondamentale importanza nella patogenesi delle sindromi da conflitto subacromiale (*impingement*).

Il piano scapolare, in condizioni fisiologiche, forma un angolo di circa 30 gradi rispetto al piano frontale. Questo orientamento determina il piano fisiologico di abduzione della

spalla ed è rilevante nella comprensione della biomeccanica articolare: la maggior parte dei movimenti funzionali dell'arto superiore avviene, infatti, nel piano della scapola piuttosto che nel piano frontale puro, con una più ottimale coaptazione delle superfici articolari e una minore tensione sulle strutture capsulo-legamentose.

1.1.2 Omero

L'omero è l'osso lungo del braccio che si articola prossimalmente con la scapola, a livello dell'articolazione gleno-omeroale, e distalmente con radio e ulna, a livello del gomito. L'estremità prossimale dell'omero è di fondamentale importanza ai fini dell'anatomia della spalla e comprende la testa omerale, il collo anatomico, il collo chirurgico, il tubercolo maggiore (*trochite*) e il tubercolo minore (*trochine*).

La testa omerale è orientata superiormente, medialmente e posteriormente. Può essere assimilata ad un terzo di sfera di circa 30 millimetri di raggio, sebbene non sia perfettamente regolare: il suo diametro verticale è maggiore di 3-4 mm rispetto al diametro antero-posteriore. Su una sezione verticale-frontale, il suo raggio di curvatura varia lievemente dall'alto verso il basso e non esiste un unico centro di curvatura, bensì una serie di centri allineati secondo una spirale. Questa particolare geometria implica che la zona di massimo contatto tra la testa omerale e la cavità glenoidea si raggiunge quando la porzione superiore della testa è in pieno contatto con la glena, condizione che si verifica in abduzione a 90 gradi: questa posizione, nota come *packed position* secondo MacConaill, corrisponde alla massima stabilità articolare.

L'asse della testa omerale forma con l'asse diafisario dell'omero un angolo di inclinazione di circa 135 gradi e, rispetto al piano frontale, un angolo di declinazione (o retroversione) di circa 30 gradi. Questa retroversione è di estrema importanza nel contesto della pianificazione preoperatoria degli impianti protesici poiché il suo ripristino è condizione necessaria per un corretto funzionamento biomeccanico della spalla dopo artroplastica. La testa è separata dal resto dell'epifisi prossimale dal *collo anatomico*, la cui inclinazione corrisponde a circa 45 gradi rispetto al piano orizzontale. Il *collo chirurgico*, al contrario, corrisponde alla zona di transizione tra l'epifisi e la diafisi omerale ed è il sito più frequente di fratture dell'omero prossimale.

Lateralmente alla testa, si individuano due prominenze ossee sulle quali si inseriscono i tendini dei muscoli periarticolari: il *tubercolo maggiore* (o *trochite*), situato lateralmente, accoglie le inserzioni dei muscoli sovraspinato, sottospinato e piccolo rotondo; il

tubercolo minore (o trochine), situato anteriormente, è il sito di inserzione del muscolo sottoscapolare. Tra i due tubercoli decorre il *solco inter-tubercolare* (o doccia bicipitale), trasformato in canale dal legamento omerale trasverso, all'interno del quale scorre il tendine del capo lungo del muscolo bicipite brachiale avvolto dalla propria guaina sinoviale.

La superficie articolare della testa omerale è ricoperta da cartilagine ialina la cui distribuzione è caratteristica: essa si presenta più spessa nella regione centrale e si assottiglia progressivamente verso la periferia in maniera opposta rispetto alla cartilagine glenoidea, più spessa ai margini e più sottile al centro. Questa distribuzione complementare contribuisce all'ottimizzazione della congruenza articolare nelle posizioni funzionali.

1.1.3 Muscoli e legamenti

La cuffia dei rotatori

La cuffia dei rotatori è un insieme di quattro muscoli corti e dei rispettivi tendini che avvolgono la testa omerale, fondendosi con la capsula articolare fibrosa dell'articolazione gleno-omerale. Essi svolgono una duplice funzione: da un lato governano i movimenti dell'omero, in sinergia con alcuni muscoli esterni alla cuffia, dall'altro — loro funzione biomeccanica preponderante — esercitano una forza compressiva che centra e stabilizza la testa omerale nella cavità glenoidea durante l'intero arco di movimento. La superficie profonda dei tendini della cuffia si fonde con lo strato esterno della capsula articolare, formando un manicotto muscolo tendineo che costituisce la parete dell'articolazione gleno-omerale.

Il **muscolo sovraspinato** origina dalla fossa sovraspinata della scapola e si porta lateralmente al di sotto dell'arco coraco-acromiale per inserirsi sulla faccetta superiore del tubercolo maggiore. È il principale motore dell'abduzione nei primi gradi di movimento e collabora con il muscolo deltoide nel mantenimento della centralizzazione della testa omerale. Il suo tendine è la struttura più frequentemente coinvolta nelle lesioni degenerative della cuffia, in ragione sia della sua posizione anatomica — in prossimità dell'arco coraco-acromiale — sia della presenza di una zona critica di ipossia relativa nota come *zona critica di Codman*, situata a circa 1 cm dall'inserzione sul tubercolo maggiore.

Il **muscolo sottospinato** origina dalla fossa sottospinata e si inserisce sulla faccetta media del tubercolo maggiore. È il principale rotatore esterno dell'omero, funzione cui partecipa il muscolo **piccolo rotondo**, il quale origina dal margine laterale della scapola e si

inserisce sulla faccetta inferiore del tubercolo maggiore. La rotazione esterna è di rilevante importanza funzionale in quanto consente al tubercolo maggiore di liberarsi al di sotto dell'arco coraco-acromiale durante l'elevazione del braccio, prevenendo il conflitto meccanico subacromiale.

Il **muscolo sottoscapolare** è l'unico elemento anteriore della cuffia. Origina dall'omomima fossa a livello della scapola e si inserisce sul tubercolo minore dell'omero. È il principale rotatore interno e adduttore dell'omero ed esercita un'importante azione di stabilizzazione anteriore della gleno-omeroale, prevenendo la lussazione anteriore della testa omeroale. Insieme agli altri componenti della cuffia partecipa alla cosiddetta *coppia di forze* che garantisce la centralizzazione della testa durante i movimenti del braccio.

Il muscolo deltoide

Il muscolo deltoide, di forma triangolare, è il principale motore dell'elevazione dell'arto superiore. Origina con tre porzioni dalla clavicola (fascio *anteriore* o *clavicolare*), dall'acromion (fascio *medio* o *acromiale*) e dalla spina della scapola (fascio *posteriore* o *spinale*), confluenndo in un'unica inserzione sul tubercolo deltoideo dell'omero. Il fascio medio è il principale abductore, ma, a causa dell'orientamento delle sue fibre, produce anche una componente di forza diretta superiormente che tenderebbe a sublussare la testa omeroale verso l'alto in assenza della forza centralizzante della cuffia dei rotatori. I fasci anteriore e posteriore invece contribuiscono rispettivamente alla flessione e all'estensione del braccio.

Muscoli estrinseci della spalla

Il **muscolo gran pettorale** origina dalla clavicola, dallo sterno e dalla cartilagine delle prime sei coste, e si inserisce sul labbro laterale del solco inter-tubercolare. È il principale adduttore e rotatore interno del braccio, nonché un potente flessore nella sua porzione sterno-costale. Il **muscolo grande dorsale** origina dalla fascia toraco-lombare e dalle ultime sei vertebre toraciche, dalle creste iliache e dalle ultime tre coste, per inserirsi nel pavimento del solco inter-tubercolare. È il principale estensore, adduttore e rotatore interno dell'omero. Entrambi questi muscoli, definiti *toraco-brachiali*, agiscono spesso in sinergia con i muscoli della cuffia per produrre movimenti potenti dell'arto superiore.

Muscoli stabilizzatori della scapola

Il **muscolo dentato anteriore** origina dalle prime otto-nove coste e si inserisce sul margine mediale della scapola. È fondamentale per la rotazione laterale (verso l'alto) della scapola durante l'elevazione del braccio; la sua paresi — conseguente a lesioni del nervo toracico lungo — determina la caratteristica *scapola alata*, con significativa compromissione funzionale. Il **muscolo trapezio**, con le sue tre porzioni (superiore, media e inferiore), contribuisce alla stabilizzazione e al movimento della scapola, formando con il dentato anteriore la principale coppia di forze responsabile della rotazione scapolare verso l'alto durante l'elevazione del braccio. Il **muscolo piccolo pettorale** origina dai margini superiori e dalla superficie esterna della terza, quarta e quinta costa, si porta super-lateralmente in profondità rispetto al *muscolo gran pettorale* e va ad inserirsi sul margine mediale e sulla superficie superiore del processo coracoideo della scapola, convergendo in un tendine piatto in prossimità del legamento coraco-acromiale. Insieme agli altri stabilizzatori, in un lavoro coordinato e sinergico, contribuisce ai movimenti di protrazione, rotazione interna ed abbassamento. L'**elevatore della scapola** è un sottile muscolo inserito sui processi trasversi dell'atlante e dell'epistrofeo e sui tubercoli posteriori dei processi trasversi della terza e della quarta vertebra cervicale mediante fascetti tendinei; discende poi diagonalmente per inserirsi sul margine mediale della scapola tra il suo angolo superiore e la superficie liscia triangolare all'estremità mediale della spina della scapola. Si occupa di ruotare lateralmente la scapola e, insieme al muscolo trapezio ed a colonna cervicale fissa, agisce anche da elevatore. Il **muscolo piccolo romboide** origina dalla parte inferiore del legamento nucale e dai processi spinosi della settima vertebra cervicale e della prima vertebra toracica, estendendosi poi verso l'estremità supero-mediale della scapola. Il **muscolo grande romboide** invece origina con fibre tendinee dai processi spinosi e dai legamenti sovraspinosi delle vertebre toraciche dalla seconda alla quinta e discende lateralmente al margine mediale della scapola, tra la base della spina e l'angolo inferiore. I due muscoli romboidi, con un'azione combinata, retraggono il margine mediale della scapola supero-medialmente e intervengono nella retrazione della spalla.

L'apparato capsulo-legamentoso

La capsula fibrosa dell'articolazione gleno-omeroale avvolge completamente l'articolazione. Essa si inserisce medialmente sul collo della cavità glenoidea, a distanza variabile dal labbro glenoideo, formando dei recessi anteriormente e posteriormente al collo della

scapola, e include il tubercolo sovraglenoideo, rendendo il tendine del capo lungo del bicipite intra-capsulare. Lateralmente la capsula si inserisce sul collo anatomico dell'omero, fatta eccezione per la porzione infero-mediale dove scende di oltre 1 cm sul cosiddetto *calcar omerale*.

Le fibre capsulari sono orientate secondo un pattern a spirale: durante l'elevazione del braccio la capsula si stringe progressivamente attorno alla testa omerale, portando le superfici articolari in stretta apposizione e contribuendo alla compressione delle superfici stesse, con un effetto stabilizzante passivo. La capsula è più robusta superiormente dove è rinforzata dal legamento coraco-omeroale e dalle fibre del sovraspinato, mentre è più lassa e sottile inferiormente dove forma il cosiddetto *recessus axillaris* o tasca ascellare, indispensabile per consentire la piena abduzione del braccio. In questa regione la capsula non è supportata dalla muscolatura prossimale ed è soggetta al massimo sforzo durante l'abduzione completa.

Nella capsula sono presenti due aperture comunicanti: la prima, anteriore, posta al di sotto del processo coracoideo, mette in comunicazione la cavità articolare con la borsa sinoviale che riveste il margine superiore del tendine del sottoscapolare; la seconda (chiamata "intervallo dei rotatori") si trova tra i due tubercoli omerali e consente il passaggio del tendine lungo del bicipite brachiale con la relativa guaina sinoviale.

I legamenti gleno-omeroali sono tre strutture fibrose — superiore, medio e inferiore — visibili soltanto dall'interno dell'articolazione; rinforzano la capsula anteriormente e inferiormente formando insieme una struttura a Z. Il *legamento gleno-omeroale superiore* origina dal tubercolo sovraglenoideo e si inserisce sulla fovea capitis dell'omero, svolgendo una funzione di stabilizzatore inferiore e aiutando a mantenere la testa omerale in posizione durante il declive del braccio. Il *legamento gleno-omeroale medio*, presente in circa il 70% dei soggetti, origina dal margine glenoideo anteriore e si inserisce sul tubercolo minore, fornendo stabilità anteriore durante l'abduzione tra 45 e 60 gradi. Il *legamento gleno-omeroale inferiore*, il più robusto dei tre, è una struttura complessa a forma di amaca, formata da una banda anteriore e una posteriore con interposta la tasca ascellare, ed è il principale stabilizzatore anteriore durante l'abduzione a 90 gradi e la rotazione esterna.

Il legamento coraco-omeroale origina dalla base dorso-laterale del processo coracoideo e si estende con due bande che si fondono con la capsula a livello dei tubercoli maggiore e minore, formando anteriormente un tunnel per il tendine del bicipite. Esso rinforza la

capsula superiormente, contribuisce alla stabilità nella posizione di riposo e si tende durante la rotazione esterna. Insieme al legamento gleno-omeroale superiore forma il cosiddetto *intervallo dei rotatori*, una zona di particolare rilevanza clinica situata tra il margine anteriore del sovraspinato e quello superiore del sottoscapolare.

Il labbro glenoideo è un cerchio fibrocartilagineo anulare che si applica sul bordo glenoideo approfondendo la concavità glenoidea di circa il 50% e aumentando la superficie articolare disponibile. La sua sezione è triangolare: la faccia interna è inserita sul bordo osseo glenoideo; la faccia periferica offre inserzione alle fibre capsulari; la faccia assiale, rivestita da cartilagine in continuità con quella della glena ossea, è in contatto con la testa omerale. Il labbro contribuisce alla stabilità attraverso l'effetto di approfondimento della cavità glenoidea e attraverso il meccanismo di *suction cup*, favorendo la lubrificazione articolare e proteggendo il tessuto osseo dall'usura.

1.1.4 Vascolarizzazione

La vascolarizzazione dell'articolazione gleno-omeroale e delle strutture periartricolari della spalla è garantita da un ricco network arterioso derivante principalmente dall'arteria ascellare e dai suoi rami.

L'arteria circonflessa anteriore dell'omero origina dalla porzione distale dell'arteria ascellare e decorre orizzontalmente, anteriormente al collo chirurgico dell'omero. Emette poi il ramo *arcuato*, che penetra nell'osso a livello del solco inter-tubercolare e costituisce il principale apporto vascolare alla testa omerale. Questa arteria è di cruciale importanza nel contesto delle fratture del collo omerale in quanto la sua interruzione può determinare la necrosi avascolare della testa, complicanza temibile sia nelle fratture che nel contesto degli impianti protesici.

L'arteria circonflessa posteriore dell'omero decorre posteriormente attraverso lo spazio quadrilatero, insieme al nervo ascellare, avvolgendosi intorno al collo chirurgico dell'omero per vascolarizzare la muscolatura posteriore del cingolo e la capsula articolare posteriore. L'arteria sopra-scapolare, ramo del tronco tirocervicale, raggiunge la scapola passando al di sopra del legamento trasverso superiore della scapola e si distribuisce ai muscoli sovraspinato e sottospinato, contribuendo anche alla vascolarizzazione capsulare. L'arteria circonflessa della scapola, ramo dell'arteria sottoscapolare, decorre attraverso lo spazio triangolare e raggiunge la fossa sottospinata, anastomizzandosi con l'arteria sopra-scapolare.

Di particolare rilievo clinico è la presenza della già citata *zona critica di Codman*, a circa 1 centimetro dall'inserzione del sovraspinato sul tubercolo maggiore, caratterizzata da una ridotta densità vascolare. Questa regione di ipossia relativa rappresenta il sito elettivo delle lesioni degenerative del tendine, spiegando parzialmente la patogenesi delle rotture della cuffia dei rotatori.

1.1.5 Innervazione

L'innervazione della regione della spalla è affidata principalmente ai rami del plesso brachiale, formato dalle radici nervose da C5 a T1. L'articolazione gleno-omeroale riceve la sua innervazione principale dalla corda posteriore del plesso brachiale, attraverso i nervi sottoscapolari superiore e inferiore. La capsula articolare è innervata in modo segmentario dalle diverse branche del plesso.

La porzione posteriore e superiore della capsula è innervata dal nervo sopra-scapolare (C5-C6), ramo del tronco superiore del plesso che decorre al di sotto del legamento trasverso superiore della scapola, innervando anche i muscoli sovraspinato e sottospinato. La porzione antero-inferiore è di competenza dal nervo ascellare (C5-C6), che origina dalla corda posteriore, decorre attraverso lo spazio quadrilaterale per raggiungere il muscolo deltoide e il muscolo piccolo rotondo, e innerva la cute della regione deltoidea. La porzione antero-superiore riceve l'innervazione dal nervo pettorale laterale (C5-C7), ramo della corda laterale.

La capsula, i legamenti e il labbro glenoideo contengono una ricca rete di terminazioni nervose afferenti profonde tra cui meccanocettori e nocicettori distribuiti prevalentemente alle estremità dei legamenti, con maggiore concentrazione sul versante glenoideo rispetto a quello omerale. Queste strutture contribuiscono in modo significativo alla stabilità articolare attraverso meccanismi neuropropriocezione-dipendenti, facilitando la contrazione riflessa dei muscoli della cuffia dei rotatori all'interno del normale arco di movimento della spalla.

Il nervo ascellare merita una menzione particolare per la sua vulnerabilità nelle lesioni e nelle procedure chirurgiche della spalla. Esso decorre in stretta prossimità alla porzione inferiore della capsula gleno-omeroale, separato da essa solamente dal margine inferiore del muscolo sottoscapolare; per questo motivo risulta particolarmente esposto al rischio di lesione nelle lussazioni gleno-omerali, nelle fratture del collo chirurgico dell'omero e durante le procedure artroscopiche e protesiche. La sua integrità deve essere

sistematicamente verificata sia prima che dopo qualsiasi intervento chirurgico sulla spalla per non incorrere in lesioni iatrogene potenzialmente irreversibili.

Il nervo sopra-scapolare può essere oggetto di intrappolamento nel decorso attraverso l'incisura scapolare o l'incisura spinoglenoidea, determinando un quadro clinico caratterizzato da atrofia e debolezza del sovraspinato e del sottospinato (se la lesione è prossimale all'incisura scapolare) o del solo sottospinato (se la lesione è localizzata all'incisura spinoglenoidea), con riduzione della forza di abduzione e di rotazione esterna.

1.2 Biomeccanica della spalla

Lo studio della biomeccanica della spalla è di fondamentale importanza per la comprensione dei meccanismi fisiopatologici delle principali affezioni articolari, per la corretta interpretazione dei quadri clinici e per la pianificazione dei trattamenti, siano essi conservativi o chirurgici. La spalla offre la maggiore ampiezza di movimento di qualsiasi articolazione del corpo umano, pur mantenendo un'adeguata stabilità durante l'esecuzione delle proprie attività funzionali. Questo equilibrio tra mobilità e stabilità è il risultato di un'interazione estremamente sofisticata tra componenti ossee, cartilaginee, capsulo-legamentose e muscolari, il cui studio richiede un approccio integrato che consideri simultaneamente le componenti statiche, dinamiche e neuroproprioceptive della funzionalità articolare.

1.2.1 Movimenti principali dell'articolazione gleno-omeroale

Le superfici articolari della gleno-omeroale presentano una geometria simil-sferoidale caratteristica delle enartrosi, articolazioni a tre assi e tre gradi di libertà. Tuttavia, a differenza di una vera e propria sfera, la testa omerale non è perfettamente sferica e le due superfici articolari non sono pienamente congruenti, almeno nella maggior parte delle posizioni funzionali. La piena congruenza e, di conseguenza, la massima stabilità passiva si raggiungono solamente in abduzione a 90 gradi con rotazione esterna — la sopra citata *packed position*. In tutte le altre posizioni la stabilità articolare è affidata prevalentemente alle strutture muscolari attive, rendendo la gleno-omeroale l'articolazione con il maggiore grado di dipendenza dalla stabilizzazione muscolare dinamica di tutto il corpo umano.

I muscoli implicati nei movimenti dell'articolazione gleno-omeroale appartengono a due categorie funzionali. I muscoli scapolo-omerali e toraco-brachiali — deltoide, gran pettorale, gran dorsale e coraco-brachiale — esercitano forze di grande entità ma prevalentemente traslazionali, dirette superiormente e/o lateralmente. Tali forze sono

antagonizzate e bilanciate dai muscoli della cuffia dei rotatori — sottoscapolare, sovraspinato, sottospinato e piccolo rotondo — che, inserendosi più prossimalmente sulla testa omerale, esercitano una forza compressiva e centripeta, centrando la testa nella cavità glenoidea. Il risultato di questa interazione è una *coppia di forze* essenziale per la produzione coordinata e sicura del movimento, indipendentemente dalla natura di esso.

Flessione ed estensione

La flessione avviene prevalentemente nel piano sagittale ed è prodotta dalla porzione clavicolare del muscolo gran pettorale, dalle fibre anteriori del muscolo deltoide e dal muscolo coraco-brachiale, con il contributo del muscolo bicipite brachiale. La porzione sterno-costale del gran pettorale svolge un ruolo rilevante durante la flessione a partire dalla posizione di completa estensione, contribuendo alla fase iniziale del movimento. L'arco di flessione gleno-omerale pura raggiunge normalmente i 90-100 gradi, con il completamento del movimento — fino ai 160-180 gradi totali — che dipende dalla partecipazione della scapola attraverso la sua rotazione verso l'alto.

L'estensione è eseguita dalle fibre posteriori del muscolo deltoide e dal muscolo grande rotondo, con il contributo del gran dorsale e della porzione sterno-costale del gran pettorale quando il braccio viene portato attivamente dal piano frontale verso la posizione di completa estensione contro resistenza. L'arco di estensione è significativamente più limitato rispetto alla flessione, attestandosi normalmente intorno ai 40-60 gradi, in quanto vincolato dalla tensione della capsula anteriore e del legamento coraco-omerale.

Abduzione e adduzione

L'abduzione è il movimento di allontanamento del braccio dal tronco nel piano frontale e rappresenta il movimento più studiato nella biomeccanica della spalla. Il muscolo sovraspinato è attivo sin dai primissimi gradi di abduzione ed esercita una forza compressiva sulla glena, stabilizzando la testa omerale; il muscolo deltoide è il principale motore a partire dai 30-60 gradi di abduzione, ma la sua azione sarebbe sublussante in assenza del controllo della cuffia. La coppia di forze formata dal deltoide (azione superiormente diretta) e dai muscoli inferiori della cuffia — sottospinato, piccolo rotondo e sottoscapolare (azione inferiormente diretta) — produce una risultante compressiva e medialmente diretta che centralizza efficacemente la testa durante tutto l'arco di movimento. Il muscolo deltoide assume ulteriore importanza nei soggetti protesizzati con protesi totale inversa

(RTSA), nei quali il reclutamento dei fasci muscolari e la loro azione globale risulta notevolmente maggiore.

Un elemento cruciale dell'abduzione è la *rotazione esterna contemporanea* dell'omero, che consente al tubercolo maggiore di liberarsi al di sotto dell'arco coraco-acromiale, evitando il conflitto meccanico. In assenza di tale rotazione, l'abduzione non può procedere oltre i 90 gradi senza che il tubercolo maggiore impatti contro l'acromion. La partecipazione dell'articolazione scapolo-toracica, con la rotazione laterale della scapola, permette di completare l'elevazione oltre i 90 gradi sino alla posizione di massima elevazione.

Rotazione interna ed esterna

La rotazione mediale (interna) è prodotta dal muscolo gran pettorale, dalle fibre anteriori del deltoide, dal gran dorsale, dal grande rotondo e, con il braccio pendente, dal sottoscapolare. È il movimento di rotazione più potente ed è coinvolto in attività quali il lancio, il nuoto e la maggior parte delle attività quotidiane della vita. Biomeccanicamente, la rotazione interna aumenta la tensione della banda posteriore del legamento gleno-omeroale inferiore, rinforzando la stabilità posteriore dell'articolazione.

La rotazione laterale (esterna) è eseguita dal muscolo sottospinato, dalle fibre posteriori del deltoide e dal piccolo rotondo. Dal punto di vista biomeccanico, la rotazione esterna è fondamentale per liberare il tubercolo maggiore durante l'elevazione del braccio al di sopra della testa; la sua limitazione — come si osserva nelle capsuliti adesive o nelle artroplastiche mal posizionate — determina una significativa compromissione funzionale dell'intero arto superiore. La rotazione esterna mette in tensione il legamento coraco-omeroale e il legamento gleno-omeroale superiore, incrementando la stabilità inferiore dell'articolazione.

1.2.2 Ruolo dell'articolazione scapolo-toracica

L'articolazione scapolo-toracica — definita collettivamente dall'articolazione sterno-clavicolare, dall'articolazione acromion-clavicolare e dallo spazio fasciale tra la scapola e la parete toracica — costituisce un elemento imprescindibile della biomeccanica del cingolo scapolare. Si tratta di uno spazio virtuale e non di un'articolazione in senso anatomico, i cui movimenti sono facilitati da due piani di scorrimento muscolari: lo *spazio scapolo-dentato*, compreso tra la scapola (rivestita dal sottoscapolare) e il gran dentato, e lo *spazio toraco-parieto-dentato*, compreso tra la parete toracica e il gran dentato.

La finalità del movimento della scapola è il corretto posizionamento della cavità glenoidea nello spazio affinché essa si orienti sempre in modo ottimale verso la direzione del movimento dell'arto superiore. La stabilità scapolare fornisce invece la base stabile sulla quale i muscoli gleno-omerale possono esercitare le proprie forze efficacemente. L'alterazione della cinematica scapolare — condizione nota come *discinesia scapolare* — è associata a numerose condizioni patologiche della spalla, tra cui le sindromi da conflitto subacromiale, le lesioni della cuffia e l'instabilità gleno-omerale.

Il ritmo scapolo-omerale

Il concetto fondamentale che descrive la cooperazione tra gleno-omerale e scapolo-toracica durante l'elevazione del braccio è il ritmo scapolo-omerale, descritto da Inman et al. nel 1944: si indica in questo modo il rapporto coordinato tra il movimento gleno-omerale e la rotazione scapolo-toracica durante l'elevazione del braccio, quantificato come il rapporto tra gradi di elevazione gleno-omerale e i gradi di rotazione verso l'alto della scapola.

Nelle fasi iniziali dell'abduzione (fino a circa 30 gradi) il contributo è prevalentemente gleno-omerale, con la scapola che si stabilizza in posizione. Successivamente il movimento procede con un rapporto approssimativo di 2:1 tra la componente gleno-omerale e quella scapolo-toracica: per ogni 3 gradi di elevazione totale, circa 2 gradi avvengono alla gleno-omerale e 1 grado alla scapolo-toracica. Questo ritmo, tuttavia, non è fisso, ma varia a seconda della fase del movimento, del carico applicato e delle condizioni cliniche individuali.

La rotazione scapolare verso l'alto raggiunge normalmente i 50-60 gradi durante l'elevazione completa dell'arto superiore, consentendo alla glena di orientarsi verso l'alto e permettendo al muscolo deltoide di mantenere una lunghezza ottimale per la produzione di forza. Senza questa rotazione scapolare il deltoide si accorcerebbe eccessivamente e la sua efficienza meccanica si ridurrebbe drasticamente, rendendo impossibile l'elevazione completa del braccio. Questo principio ha una rilevanza clinica fondamentale: nell'artroplastica inversa di spalla la modificazione della cinematica articolare sfrutta proprio la meccanica del deltoide come motore principale in assenza della cuffia dei rotatori, come già accennato sopra.

Movimenti della scapola

I movimenti della scapola sulla parete toracica includono il tilt anteriore e posteriore, la protrusione e la retrazione, la rotazione interna ed esterna. Il tilt della scapola è generato principalmente dal trapezio superiore e dall'elevatore della scapola: durante tale movimento la clavicola si eleva ruotando intorno all'articolazione sterno-clavicolare. L'abbassamento avviene per gravità con il contributo del dentato anteriore inferiore e del piccolo pettorale, quando necessario.

La protrusione scapolare, che si verifica durante i movimenti di spinta e allungamento anteriore, è prodotta principalmente dal dentato anteriore e dal piccolo pettorale. La retrazione è invece sostenuta dalle fibre orizzontali e inferiori del trapezio e dai muscoli romboidi.

La rotazione esterna (verso l'alto) della scapola, fondamentale per l'elevazione del braccio, è garantita dalla coppia di forze formata dal trapezio superiore (che eleva l'acromion) e dal dentato anteriore inferiore (che protrae e ruota l'angolo inferiore della scapola); essa richiede movimenti combinati a livello di entrambe le articolazioni sterno-clavicolare e acromion-clavicolare.

1.2.3 Stabilità articolare e meccanismi di centraggio

La stabilità della gleno-omeroale è garantita da meccanismi sia passivi che attivi. I meccanismi di stabilità passiva includono la geometria articolare, limitata dalla piccola superficie glenoidea rispetto alla grande testa omerale, il labbro glenoideo che approfondisce la cavità, la pressione intra-articolare negativa che esercita un effetto di ventosa, e le strutture capsulo-legamentose che operano come vincoli meccanici agli estremi dell'arco di movimento. È importante sottolineare che i legamenti agiscono come dei *freni* limitando specifici movimenti soltanto al termine del loro range, senza alcun ruolo meccanico rilevante nel range funzionale intermedio o fisiologico.

I meccanismi di stabilità attiva sono assicurati dalla cuffia dei rotatori attraverso il meccanismo di *compressione nella concavità* (*concavity compression*): la contrazione dei muscoli della cuffia genera una forza compressiva diretta verso la glena che stabilizza la testa omerale in modo proporzionale alla forza da essi applicata e alla profondità della concavità glenoidea. Questo meccanismo è tanto più efficace quanto maggiore è la profondità della cavità, motivo per cui le lesioni del labbro glenoideo, come nella lesione di Bankart,

compromettono significativamente la stabilità articolare riducendo l'efficienza della compressione nella concavità.

La propriocezione riveste un ruolo di primaria importanza nella stabilità dinamica della spalla. I meccanocettori presenti nella capsula articolare, nei legamenti e nel labbro trasmettono informazioni sulla posizione articolare e sulle variazioni di tensione dei tessuti; tali informazioni vengono integrate a livello del sistema nervoso centrale per modulare in modo continuo la contrazione dei muscoli periartricolari, permettendo aggiustamenti posturali rapidi e prevenendo i movimenti che potrebbero portare alla lussazione. Il riflesso di attivazione muscolare, mediato dai meccanocettori capsulari, ha latenze dell'ordine dei 25-35 millisecondi, sufficientemente brevi da consentire una protezione efficace dell'articolazione durante le attività dinamiche.

Un ulteriore meccanismo stabilizzante è rappresentato dall'*effetto imbuto capsulare*: durante l'elevazione del braccio, le fibre capsulari si avvolgono progressivamente attorno alla testa omerale con un'azione a spirale che incrementa la pressione intra-articolare e comprime le superfici articolari. Questo effetto, assieme alla tensione sviluppata dal legamento coraco-omeroale e dal legamento gleno-omeroale inferiore nelle posizioni di elevazione e rotazione estreme, costituisce il principale sistema di contenzione passiva della gleno-omeroale. La comprensione di tali meccanismi è essenziale per la corretta interpretazione delle patologie da instabilità e per la pianificazione di strategie terapeutiche mirate al ripristino della funzione articolare¹⁻³.

2. SCOPO DELLO STUDIO

Il ruolo dell'articolazione scapolo-toracica nei soggetti sottoposti a RTSA, unitamente al meccanismo di compenso da essa esercitato, costituisce oggi un ambito di indagine particolarmente giovane: per anni lo studio della scapolo-toracica nelle patologie della spalla è stato messo in secondo piano senza comprenderne l'importanza; i primissimi lavori a riguardo infatti hanno iniziato ad essere pubblicati solo una manciata di anni fa. Il riferimento concettuale da cui muovere l'analisi è rappresentato dal ritmo scapolo-omerale, descritto storicamente da Codman⁴ e successivamente quantificato in termini cinematici da Inman⁵, il quale ha individuato nel soggetto sano un rapporto SHR (Scapulo-Humeral Rhythm) pari a 2:1. Secondo tale formulazione, durante l'elevazione completa dell'arto superiore, per ogni tre gradi di movimento complessivo, due risultano attribuibili al movimento gleno-omerale, ossia allo scorrimento della testa omerale all'interno della cavità glenoidea, mentre il grado restante è imputabile al movimento dell'articolazione scapolo-toracica, segnatamente alla rotazione superiore della scapola sulla gabbia toracica⁶.

Il presente studio si propone di verificare e quantificare l'entità del compenso esercitato dall'articolazione scapolo-toracica a seguito di un intervento di artroprotesi di spalla. A partire da tali premesse, l'obiettivo è quello di indagare in che modo una conoscenza approfondita di questo fenomeno possa fornire allo specialista fisioterapico strumenti operativi più puntuali per la selezione degli esercizi da proporre al paziente, modulati in funzione sia dei meccanismi di compenso messi in atto dall'articolazione operata, sia dell'azione muscolare residua osservabile nel singolo caso clinico.

Un inquadramento esauriente di tale tematica è offerto dalla revisione narrativa di Shekhihi e collaboratori, i quali evidenziano come le spalle sottoposte a RTSA presentino un profilo cinematico distinto rispetto a quello delle spalle sane, caratterizzato da una riduzione del ritmo scapolo-omerale e da una conseguente maggiore dipendenza dal movimento scapolo-toracico rispetto a quello gleno-omerale ai fini dell'elevazione dell'arto. Le analisi dinamiche, peraltro, suggeriscono un incremento del movimento scapolo-toracico nel periodo successivo all'intervento, accompagnato da alterazioni dei movimenti rotatori sui diversi piani anatomici⁷.

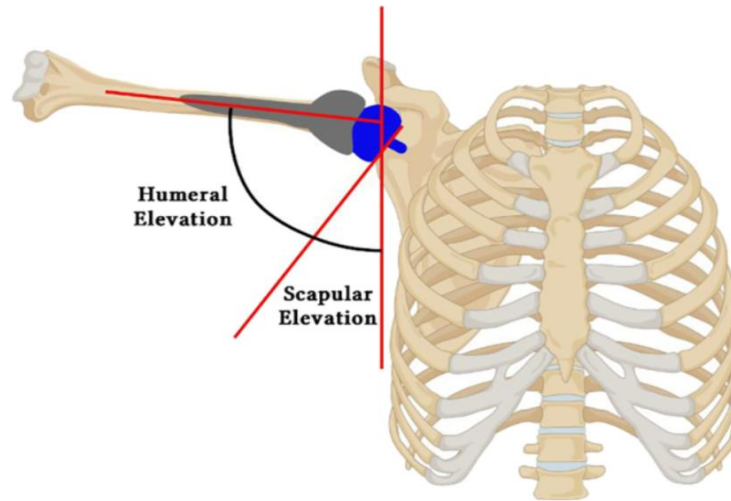


Figura 1. Elevazione scapolare e gleno-omeroale in seguito a RTSA che dimostra il contributo del complesso scapolo-toracico alla cinematica articolare postoperatoria.

Sul versante della cinematica strumentale, numerosi contributi hanno dimostrato come l'articolazione scapolo-toracica e il ritmo scapolo-omeroale risultino significativamente modificati a seguito dell'artroplastica inversa totale di spalla.

Sempre sul tema del compenso, lo studio stereoradiografico condotto da Linderman e collaboratori pone in luce un aspetto di particolare interesse clinico ai fini del follow-up a lungo termine: viene infatti formulata l'ipotesi secondo cui l'incremento del movimento scapolo-toracico, segnatamente durante l'elevazione della spalla, rappresenti un meccanismo compensatorio rispetto alle limitazioni del range articolare, con particolare evidenza negli angoli di abduzione più ridotti. Gli autori sottolineano tuttavia come il movimento scapolo-toracico, qualora ecceda determinate soglie, possa risultare associato a esiti clinici sfavorevoli, tra cui dolore muscolo-scheletrico periscapolare e acromion-claveare, borsite sottoscapolare e fratture da stress della spina scapolare. Il riconoscimento precoce di un movimento scapolo-toracico persistentemente aumentato, unitamente a un movimento gleno-omeroale relativamente ridotto, assume pertanto rilevanza significativa in relazione agli esiti a lungo termine successivi all'intervento di RTSA⁸.

Esistono tuttavia limiti intrinseci all'entità del compenso scapolo-toracico e, in determinate categorie di pazienti affetti da patologia a carico della medesima articolazione, tale meccanismo può risultare considerevolmente ridotto. In questa prospettiva, la seconda parte dello studio condotto da Bauer e collaboratori fornisce un razionale teorico solido a sostegno della tesi secondo cui la valutazione pre-operatoria della funzione scapolare e il trattamento riabilitativo mirato debbano essere considerati parte integrante del percorso

di cura^{9,10}. Un elemento meritevole di particolare attenzione, soprattutto in vista dell'analisi e della discussione dei risultati e a giustificazione dell'inclusione di un percorso fisioterapico strutturato, è infatti rappresentato proprio dai limiti intrinseci del compenso scapolare.

Alla luce delle premesse esposte e delle evidenze maturate nel corso di anni di indagini cinematiche e biomeccaniche, il presente studio si propone di valutare, mediante un sistema di tracciamento cinematico 3D reso possibile da sensori inerziali denominati Showmotion™ (NCS Lab S.r.l., Carpi – Modena – Italia) [per approfondimenti, si rimanda al capitolo inerente 3.4] l'entità del suddetto compenso e i gradi di movimento raggiunti dai soggetti in funzione dello stesso, con l'intento di fornire indicazioni e strumenti di maggiore solidità nell'ambito del percorso di riabilitazione fisioterapica, attraverso la definizione di esercizi sempre più mirati e orientati al conseguimento di un recupero rapido ed efficace.

3. MATERIALI E METODI

3.1 Arruolamento dei pazienti

Il presente studio ha incluso una coorte di 33 pazienti (17 femmine e 16 maschi) sottoposti a intervento di artroplastica totale inversa di spalla con tecnica navigata, eseguito nel periodo compreso tra la fine di gennaio 2024 e la prima metà di gennaio 2026. Tutti gli interventi sono stati effettuati mediante sistema di navigazione AdvitaGPS® Shoulder Application 1.7 (Advita Inc., Gainesville, FL, USA). Tutti i soggetti arruolati sono stati trattati mediante artroplastica inversa di spalla con tecnica navigata (nRTSA, *navigated Reverse Total Shoulder Arthroplasty*). Le procedure sono state eseguite dal medesimo operatore e hanno riguardato, in ogni caso, impianti primari; la dominanza dell'arto non è stata inclusa tra le variabili considerate. Nell'ambito del protocollo preoperatorio, sono stati sistematicamente acquisiti un esame radiografico e una TC, indispensabili sia per una corretta pianificazione chirurgica sia per il successivo impiego del sistema di navigazione GPS.

L'impianto utilizzato per la totalità dei 33 pazienti reclutati nello studio è stato l'Equinox® Reverse Shoulder System, distribuito in Italia da Advita Ortho, in associazione al sistema di navigazione AdvitaGPS®. Quest'ultimo costituisce un supporto tecnologico impiegato sia nella fase di pianificazione preoperatoria, sia nel corso della procedura chirurgica, con la finalità di assistere l'operatore nella localizzazione delle strutture anatomiche e nel corretto allineamento dell'impianto protesico, attraverso punti di repere anatomici identificati a partire dalla TC preoperatoria del paziente.

La valutazione clinica post-operatoria è stata condotta nei mesi di marzo e aprile 2026 presso la Struttura Complessa di Ortopedia e Traumatologia dell'Azienda Ospedaliero-Universitaria Policlinico di Modena, avvalendosi di sensori inerziali Showmotion™ per l'analisi cinematica.

Compatibilmente con un decorso post-operatorio privo di complicanze, l'indicazione all'avvio del percorso fisioterapico è stata fissata in un intervallo compreso tra i quindici e i ventuno giorni successivi all'intervento.

Nell'ambito della valutazione clinica è stato altresì raccolto il grado di soddisfazione espresso dai pazienti, mediante una scala numerica da 0 a 10, in relazione sia all'intervento chirurgico sia alle ricadute sulla qualità di vita complessiva. Oltre a ciò, i pazienti sono

stati sottoposti nel post-intervento a due questionari relativi alla funzionalità e alla qualità di vita (QuickDASH, Constant Shoulder Score) [per approfondire si rimanda al Paragrafo 3.3 - Score clinici funzionali]

3.2 Tecnica chirurgica

3.2.1 Fase preoperatoria

Dopo aver ricevuto l'indicazione alla RTSA da parte dello specialista in sede di visita ambulatoriale, è fondamentale che il paziente venga sottoposto ad un esame TC della spalla interessata¹¹ in modo che le immagini possano essere successivamente caricate all'interno del software Orthoblu (Equinoxe® Planning App²) ai fini della ricostruzione tridimensionale dell'articolazione.

3.2.2 Planning chirurgico

Una volta completata l'acquisizione delle immagini mediante TC, il software procede alla generazione di un modello tridimensionale paziente-specifico della scapola e del terzo prossimale dell'omero ottenuto attraverso la segmentazione e la ricostruzione volumetrica delle strutture ossee di interesse. Sulla base di tale modello, l'applicazione calcola automaticamente i principali parametri morfometrici della superficie glenoidea nativa, tra cui gli angoli di inclinazione e di versione, che costituiscono riferimenti fondamentali per la pianificazione preoperatoria e per la corretta personalizzazione dell'impianto protesico.

Mediante lo stesso strumento informatico, il chirurgo può selezionare e configurare le componenti protesiche più idonee al caso clinico in esame. Per quanto riguarda la componente glenoidea, è possibile optare tra differenti tipologie di metaglena, nella variante standard o con wedge, e definire con accuratezza la profondità di impianto, l'inclinazione, la rotazione e la versione, adattando tali parametri alla morfologia glenoidea del paziente e all'eventuale presenza di erosioni o deformità. In merito alla componente omerale, il software consente di simulare l'altezza del piano osteotomico a livello della testa omerale, di scegliere la dimensione dello stelo protesico e di pianificarne il posizionamento all'interno del canale endomidollare, ottimizzando così l'orientamento dell'impianto e il ripristino dei rapporti anatomici fisiologici.

3.2.3 Procedura operatoria

Tutti i soggetti coinvolti sono stati sottoposti a un'anestesia loco-regionale, ovvero tramite un blocco plessico brachiale in aggiunta ad un'anestesia generale. Il paziente viene posizionato in decubito supino, in posizione *beach chair* modificata (con testata del tavolo operatorio sollevata di circa 90°).



Figura 2. Posizione beach chair modificata con la stazione del sistema Exactech GPS a fianco.

Il paziente deve poi essere spostato verso il bordo del tavolo in modo tale che l'arto superiore interessato possa essere portato in massima estensione senza alcun ostacolo da parte del tavolo operatorio stesso. Una volta che il paziente è stato adeguatamente assicurato, si procede alla valutazione del range di movimento dell'arto, prestando particolare attenzione alla rotazione esterna con il braccio addotto lungo il fianco: l'intero arto superiore deve essere preparato in modo tale da consentire un accesso completo all'area operatoria e una piena mobilità nel corso della procedura.

Si monta successivamente la stazione Advita GPS con monitor touch screen: essa viene normalmente posizionata lateralmente all'anca controlaterale del paziente in modo tale da permettere una visione ottimale da parte dell'equipe chirurgica.

L'accesso cutaneo prevede un'incisione deltoidea-pettorale, che ha come punti di repere l'apice del processo coracoideo superiormente e la tuberosità deltoidea sull'omero inferiormente.

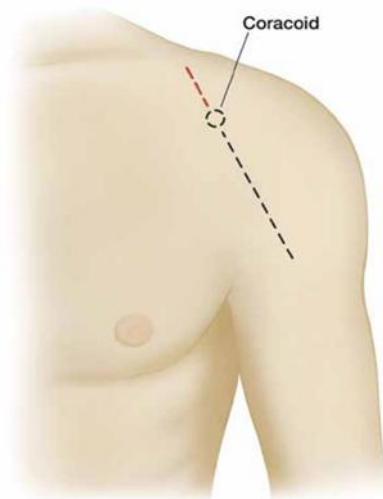


Figura 3. Incisura deltoidea pettorale anteriore.

Successivamente alla dissezione del tessuto sottocutaneo dalla fascia deltoidea, si procede all'identificazione dell'intervallo deltoideo-pettorale, che viene divaricato spostando lateralmente la vena cefalica. La fascia clavi-pettorale viene quindi incisa lungo il margine laterale del tendine congiunto.

Si procede all'individuazione del tendine del capo lungo del bicipite all'interno dell'omonima doccia, sezionandolo con cautela al fine di evitare lesioni a carico del fascio vascolonervoso sottostante. Solitamente, il capo lungo del bicipite viene fissato al margine superiore del tendine del grande pettorale e, successivamente, si procede con la tenotomia dello stesso, rimuovendolo alla base dell'ancora bicipitale.

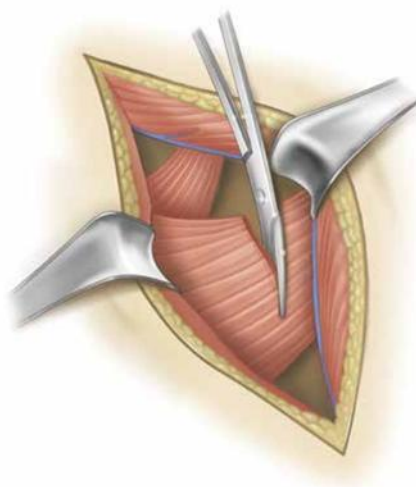


Figura 4. Resezione del 1/3 superiore del tendine pettorale.

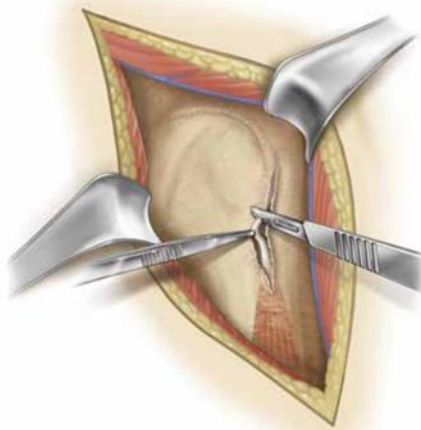


Figura 5. Tenodesi del tendine bicipitale.

Si passa successivamente all'identificazione del tendine del muscolo sottoscapolare, che frequentemente si presenta in condizione di degenerazione e retrazione, procedendo contestualmente alla legatura dei vasi circonflessi omerali anteriori, decorrenti in prossimità del margine inferiore del tendine stesso. Il tendine del sottoscapolare viene quindi imbastito mediante punti di repere e distaccato attraverso un'osteotomia eseguita a livello della piccola tuberosità.

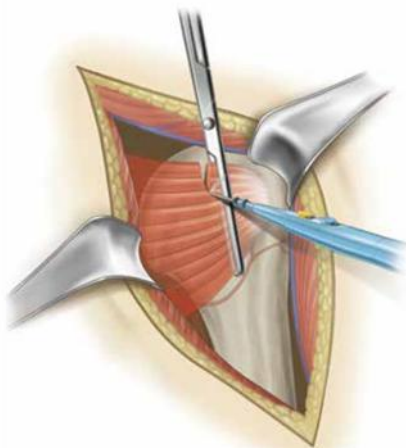


Figura 6. Distacco e imbastitura del tendine sottoscapolare.

La dissezione prosegue con la rimozione della capsula articolare e del tessuto degenerato. Il sottoscapolare viene quindi retratto medialmente al fine di esporre l'articolazione gleno-omeroale; vengono inserite le leve di Hohmann e si procede alla lussazione della testa omerale. In questa fase risulta necessario procedere all'esecuzione di un'ampia capsulotomia posteriore al fine di ottenere la completa esposizione della testa omerale.

Fase omerale. Si procede al posizionamento di una guida endomidollare per l'esecuzione dell'osteotomia della testa omerale, introducendola in corrispondenza dell'*hinge point*, ossia del punto di intersezione tra l'asse diafisario e l'asse cefalico omerale, mantenendo l'asse della testa dell'omero in una posizione di circa 20° di retroversione. Il taglio viene generalmente condotto a livello del collo anatomico.

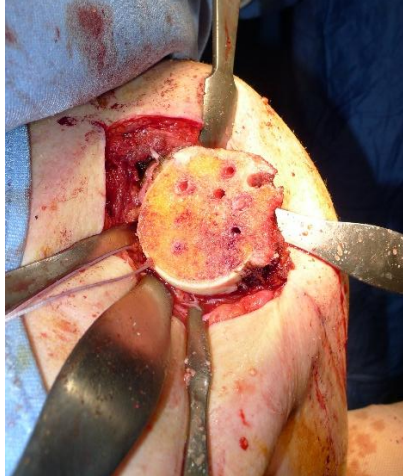


Figura 7. Osteotomia omerale a livello del collo anatomico.

Una volta identificato il canale midollare, si procede ad alesare mediante frese di diametro progressivamente crescente sino al raggiungimento di un'ampiezza adeguata ad accogliere la componente protesica omerale. Viene quindi inserito lo stelo di prova, in relazione al quale il chirurgo è chiamato a valutarne la tenuta, optando per la cementazione qualora la stabilità *press-fit* dovesse risultare insufficiente. A completamento di questa fase, viene applicato un disco di protezione al fine di prevenire eventuali danni a carico dell'osso corticale nel corso dell'esposizione della glenoide.

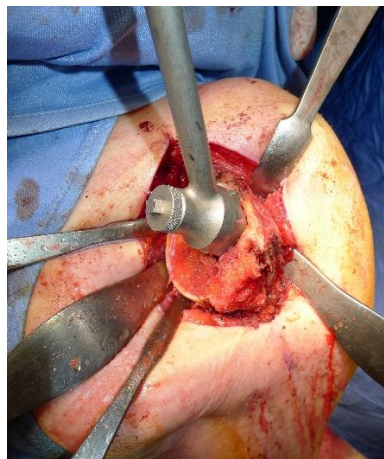


Figura 8. Fase omerale con posizionamento di stelo provvisorio.

Fase glenoidea. L'esposizione della superficie glenoidea richiede la completa asportazione del cerchione glenoideo e l'esecuzione di un release capsulare anteriore e inferiore, avendo cura di preservare l'integrità del nervo ascellare, che decorre in posizione inferiore rispetto alla glenoide. Si procede quindi alla rimozione di tutti gli osteofiti marginali. Un'adeguata esposizione del margine osseo inferiore della glenoide costituisce un prerequisito fondamentale per garantire l'accuratezza del posizionamento dell'impianto, in quanto consente al chirurgo una corretta identificazione dei reperti anatomici e una migliore gestione delle strutture circostanti. Il tracker per la navigazione computer-assistita viene quindi posizionato sul processo coracoideo e stabilizzato mediante due viti di ancoraggio al fine di assicurarne la solidarietà con la struttura ossea durante l'intero intervento e prevenire eventuali dislocazioni che potrebbero compromettere la precisione del sistema.



Figura 9. Posizionamento del tracker a livello del processo coracoideo.

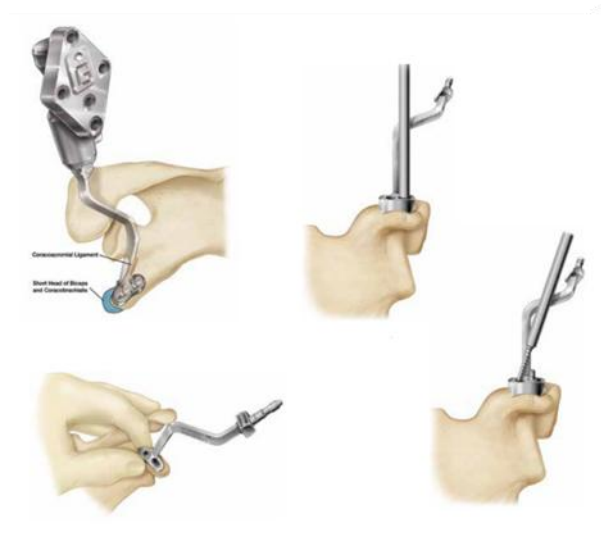


Figura 10. Corretto posizionamento del tracker a livello della scapola.

Successivamente, attraverso il monitor dedicato fissato precedentemente a livello del letto chirurgico all'altezza dell'anca controlaterale del paziente, è possibile visualizzare il modello tridimensionale della glenoide e procedere alla fase di registrazione anatomica durante la quale il chirurgo identifica, mediante l'apposito strumentario (denominato probe-tracker), una serie di punti di calibrazione. Tali punti comprendono, in particolare: il margine laterale, il margine inferiore e la base del processo coracoideo; i margini superiore, inferiore, anteriore e posteriore della glenoide, unitamente alla sua superficie articolare; il margine postero-inferiore, il collo interno e il margine posteriore della glenoide. Il sistema elabora i dati acquisiti e fornisce in tempo reale un'indicazione dell'accuratezza delle misurazioni, consentendo al chirurgo di confermare la corrispondenza tra il modello virtuale pianificato e l'anatomia reale del paziente.

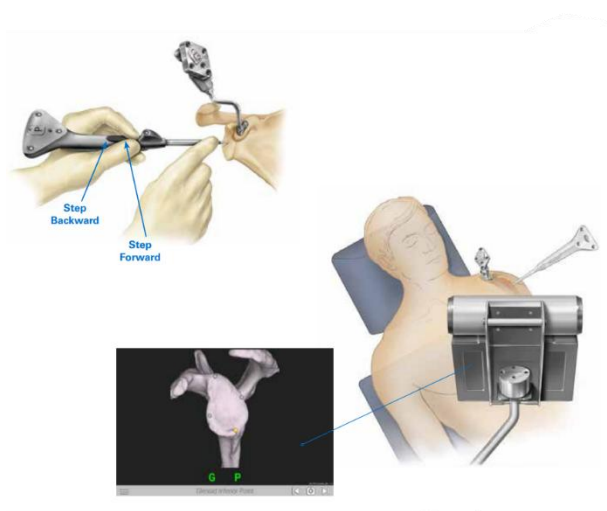


Figura 11. Calibrazione con pennetta GPS e monitor dedicato.

Una volta validata la calibrazione, il chirurgo può procedere alla preparazione della superficie glenoidea, guidato dal sistema GPS (tool-tracker). Il monitor visualizza in tempo reale i parametri di inclinazione, versione e profondità di fresatura, garantendo un controllo intraoperatorio costante e una piena aderenza al piano preoperatorio.

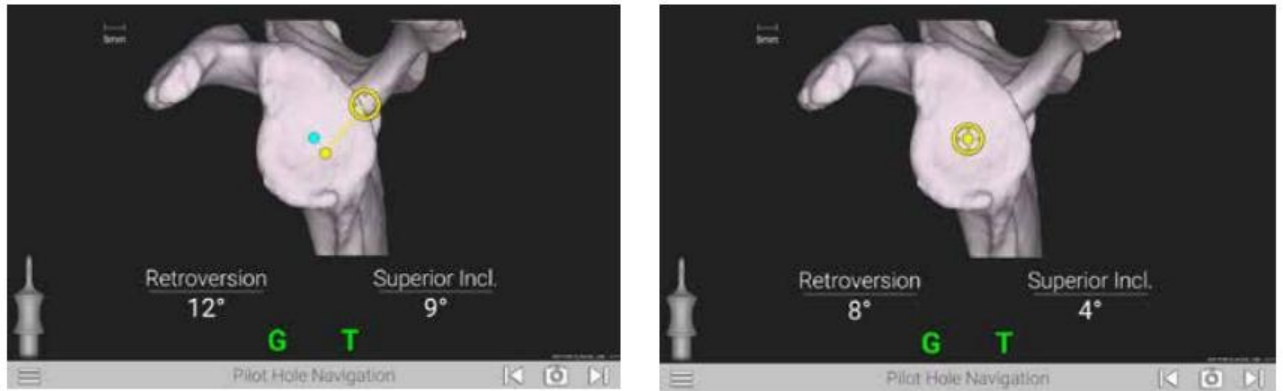


Figura 12. Indicazioni per la corretta esecuzione del foro pilota.

Completata questa fase, viene inserita la metaglena e si procede alla realizzazione dei fori destinati alle viti di fissaggio, anch'essi monitorati dal sistema di navigazione, che fornisce informazioni continue sulla direzione e sulla profondità di perforazione. Dopo aver posizionato e assicurato adeguatamente almeno tre viti, rispettivamente in posizione inferiore, anteriore e posteriore, si procede in ultima istanza al montaggio della glenosfera, completando in tal modo l'impianto della componente glenoidea.

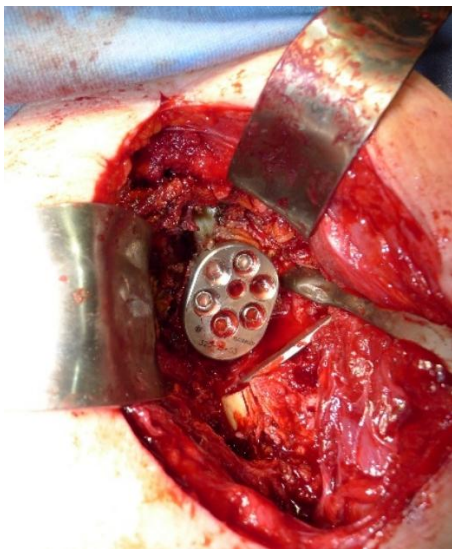


Figura 133. Posizionamento metaglena con viti di fissaggio (sinistra).

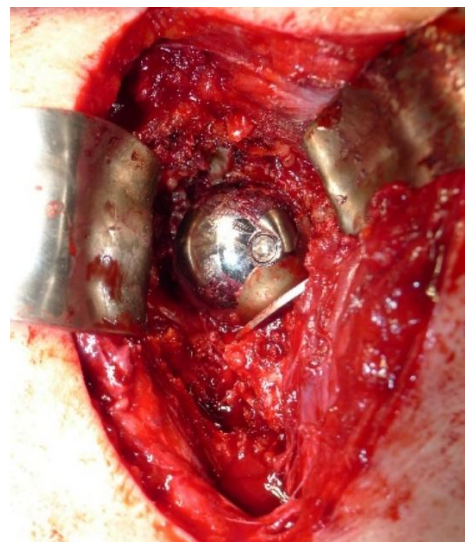


Figura 14. Posizionamento finale della metaglena in sede (destra).

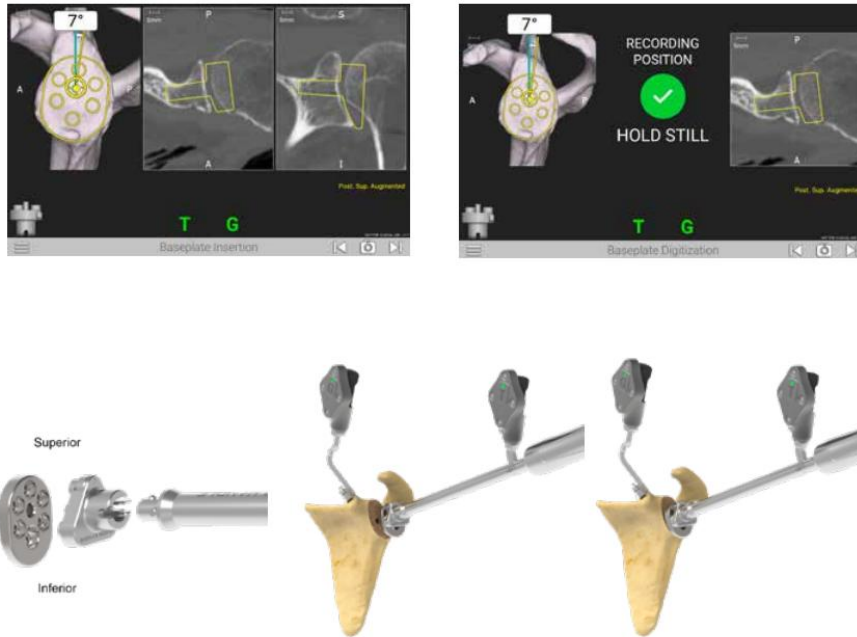


Figura 14. Corretto orientamento dei fori destinati alle viti di fissaggio della metaglena con rispettivo monitoraggio nel sistema di navigazione.

Conclusa la fase glenoidea, si procede alla rimozione dell'impianto di prova a livello omereale. Si valuta lo stato del tendine del sottoscapolare, al fine di stabilire l'opportunità di una sua reinserzione mediante tecnica transossea.

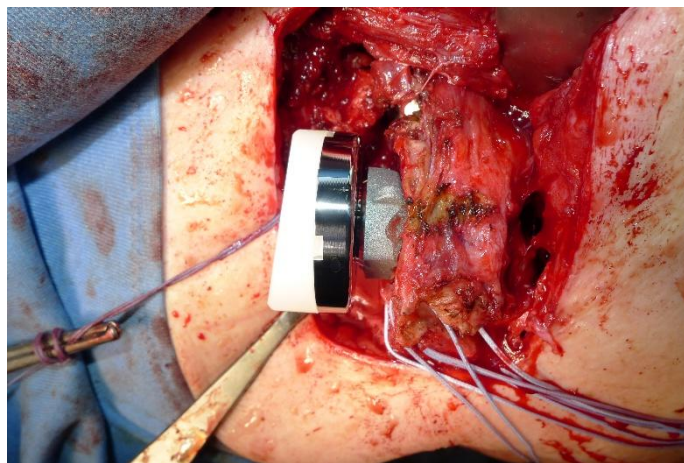


Figura 15. Posizionamento di inserto in polietilene.

Vengono quindi posizionate le componenti definitive di stelo e metafisi, procedendo successivamente al fissaggio dell'inserto in polietilene dello spessore selezionato in funzione del grado di tensione articolare desiderato. Si procede infine alla riduzione dell'articolazione, della quale vengono accuratamente verificate la stabilità e l'articolarietà su tutti i piani del movimento, al fine di evidenziare eventuali condizioni anomale quali instabilità dell'impianto, fenomeni di *impingement* o eccessiva tensione delle fibre muscolari.

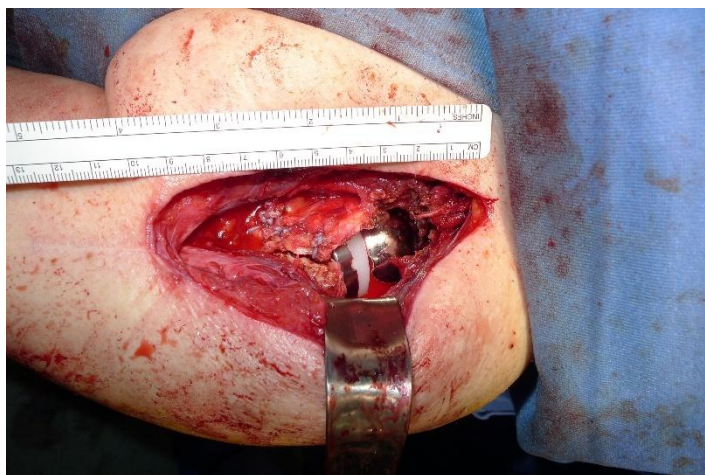


Figura 16. Articolazione ridotta ad intervento finito, si notano i rapporti articolari invertiti.

L'intervento si conclude con la chiusura per piani anatomici previa applicazione di un drenaggio aspirativo, suturando il piano sottocutaneo mediante fili riassorbibili e la cute con fili non riassorbibili o, in alternativa, clips metalliche. L'arto operato viene mantenuto in posizione di riposo mediante un tutore in abduzione a 10°.

3.2.4 Post-operatorio

Al termine della procedura chirurgica i pazienti vengono dimessi dalla sala operatoria con un tutore in posizione di abduzione a 10-15°. Già nell'immediato decorso post-operatorio viene indicato l'avvio di esercizi attivi di flessione-estensione del gomito, con il duplice obiettivo di favorire una ripresa funzionale precoce e di preservare la mobilità delle articolazioni adiacenti, prevenendo così l'instaurarsi di rigidità secondarie che potrebbero compromettere il successivo percorso riabilitativo. Il protocollo previsto per la fase post-operatoria immediata contempla una visita ortopedica di controllo con rimozione dei punti di sutura tra la sedicesima e la diciottesima giornata, seguita da un controllo radiografico dell'articolazione operata a distanza di circa trenta giorni dall'intervento, finalizzato a verificare il corretto andamento del processo di consolidamento e l'assenza di complicanze a carico delle strutture coinvolte. Riveste un ruolo di primaria importanza l'avvio tempestivo del percorso fisioterapico riabilitativo, che viene generalmente raccomandato a partire dalla ventunesima giornata post-operatoria. La tipologia di esercizi proposti, così come la durata complessiva del trattamento, devono essere necessariamente individualizzate sulla base delle condizioni cliniche generali del paziente e del livello funzionale e motorio di partenza, variabili che condizionano in modo significativo gli obiettivi raggiungibili e i tempi di recupero.

3.3 Score clinici funzionali

3.3.1 Constant Shoulder Score (CSS)

Noto anche come Constant-Murley Score, costituisce uno dei più consolidati e diffusi strumenti di valutazione funzionale della spalla a livello internazionale. Sviluppato nel 1987, ad oggi è adottato come standard di riferimento dalla European Society for Surgery of the Shoulder and the Elbow (ESSSE/SECEC). Rappresenta una delle scale di valutazione più frequentemente utilizzate sia nella pratica clinica sia in ambito di ricerca, in particolare nel contesto della chirurgia protesica e ricostruttiva della spalla.

La peculiarità del CSS risiede nella sua natura mista: esso integra una componente di valutazione soggettiva, fornita direttamente dal paziente, con una componente di valutazione oggettiva, rilevata dall'esaminatore durante l'esame clinico. Il punteggio totale è espresso su una scala da 0 a 100 punti dove il valore massimo corrisponde a una funzione di spalla pienamente conservata e asintomatica.

Il punteggio si articola nei seguenti quattro domini di valutazione:

- **Dolore (15 punti).** Costituisce la componente soggettiva primaria e viene valutato attraverso una scala numerica nella quale il paziente è chiamato a quantificare l'intensità del dolore percepito nelle attività quotidiane.
- **Attività della vita quotidiana (20 punti).** Anch'essa di natura soggettiva, questa sezione valuta la capacità del paziente di svolgere le normali attività occupazionali e ricreative e il livello a cui riesce a utilizzare l'arto nello spazio, considerando l'altezza fino alla quale è in grado di posizionare la mano in maniera funzionale (vita, processo xifoideo, collo, sommità del capo, sopra il capo).
- **Range di movimento (40 punti).** Rappresenta la componente oggettiva quantitativamente più rilevante del punteggio ed è suddivisa nella valutazione dei quattro movimenti fondamentali della spalla: elevazione anteriore (flessione), abduzione, rotazione esterna e rotazione interna. I gradi articolari raggiunti vengono convertiti in punteggio secondo tabelle di corrispondenza standardizzate.
- **Forza (25 punti).** Costituisce la seconda componente oggettiva del punteggio e viene rilevata mediante misurazione della forza isometrica di abduzione, eseguita con il braccio mantenuto a 90° di abduzione sul piano scapolare. La misurazione viene tradizionalmente effettuata mediante dinamometro, con conversione del valore rilevato in punti secondo criteri predefiniti. Nel contesto specifico

dell'artroplastica inversa totale di spalla, il Constant Score riveste un ruolo di particolare centralità in ragione delle sue caratteristiche peculiari.

OUT-PATIENT CLINIC		SHOULDER UNIT	
CONSTANT SCORE			
Paziente: _____ Clin: _____ Tel: _____ C.c. _____		Intervento/Diagnosi: _____ Data: _____ Valutazione: Pre-op _____ 3 mesi _____ 1 anno _____ 6 mesi _____ 2 anni _____ _____ anni	
A.- Dolore (/15): Media (1 + 2) A 1. Accusi dolore alla spalla durante le normali attività? No ~15 pts, Dolore lieve ~ 10 pts, Moderato ~ 5 pts, Intenso o persistente ~ 0. _____ 2. Scala lineare: Se "0" significa nessun dolore e "15" è il massimo dolore che hai accusato, per favore cerchi dove è il livello di dolore alla tua spalla. (Il punteggio è inverso alla scala del dolore. Es. livello 5 nella scala significa 10 punti) Scala del dolore: 0 15 Punti: 15 0 			
B.- Attività quotidiane (/20) B 1. Il suo lavoro o le attività quotidiane sono limitate dalla sua spalla? No ~ 4, Moderata limitazione ~ 2, Intensa limitazione ~ 0 _____ 2. Il suo tempo libero o le attività ricreative sono limitate dalla sua spalla? No ~ 4, Moderata limitazione ~ 2, Intensa limitazione ~ 0 _____ 3. Il suo sonno è disturbato dalla sua spalla? No ~ 2, Qualche volta ~ 1, Sì ~ 0 _____ 4. A quale livello può usare il braccio affinché il movimento sia ragionevolmente indolore? Vita ~ 2, Xifoido (sterno) ~ 4, Collo ~ 6, Testa ~ 8, Sopra la testa ~ 10 _____			
C.- Range di movimento (parte riservata al dottore o al fisioterapista) (/40): C 1.- FWD Flessione: 0 - 30 0 pts 31 - 60 2 pts 61 - 90 4 pts 91 - 120 6 pts 121 - 150 8 pts > 150 10 pts Gradi _____ 2.- Abduzione: 0 - 30 0 pts 31 - 60 2 pts 61 - 90 4 pts 91 - 120 6 pts 121 - 150 8 pts > 150 10 pts Gradi _____ 3.- Rotazione Esterna: Mano dietro la testa e gomito avanti 2 Mano dietro la testa e gomito dietro 4 Mano sopra la testa e gomito avanti 6 Mano sopra la testa e gomito dietro 8 Completa elevazione del braccio 10 Gradi _____ 4.- Rotazione Interna: (Dorsum hand to) Coscia 0 Natica 2 Articolazione SI 4 Vita 6 T12 8 Tra le scapole 10 Gradi _____			
D.- Forza (/25): Punti: media (kg) x 2 = D Prima pull: _____ Seconda pull: _____ Terza pull: _____ Quarta pull: _____ Quinta pull: _____ Media pull: _____			
TOTALE (/100): A + B + C + D E			
Stima soggettiva post-operatoria del paziente: 1=Molto migliorata; 2=Migliorata; 3=Invariata; 4=Peggiorata F			

Figura 17. Constant-Murley Score.

In primo luogo, l'inclusione di una componente oggettiva (range di movimento e forza) consente di documentare in maniera quantitativa i miglioramenti funzionali conseguenti all'intervento, riducendo la dipendenza dalla sola percezione soggettiva del paziente. In secondo luogo, la sua diffusione internazionale rende i risultati confrontabili con quelli della letteratura scientifica di riferimento, agevolando la valutazione comparativa con altre casistiche. Infine, la possibilità di applicazione sia in fase preoperatoria sia nei diversi tempi di follow-up consente una valutazione longitudinale dell'evoluzione clinica, particolarmente utile nella documentazione dell'efficacia della procedura chirurgica e dell'eventuale percorso riabilitativo associato.

3.3.2 QuickDASH (Disabilities of the Arm, Shoulder and Hand)

Si tratta della versione abbreviata del DASH ed è uno dei più diffusi *Patient-Reported Outcome Measures (PROM)* per la valutazione di disabilità e sintomi dell'arto superiore: dalla versione originale a 30 items è stata sviluppata questa versione più breve a 11 items, con un approccio di *concept-retention* per mantenere la validità riducendo il carico di compilazione.

Struttura

Il questionario è composto da 11 item obbligatori che indagano:

- **sintomi** (dolore, parestesie, rigidità, debolezza)
- **funzione** nelle attività della vita quotidiana

Esistono inoltre due moduli opzionali da 4 item ciascuno:

- *Modulo lavorativo* — impatto sull'attività professionale
- *Modulo sport/musica* — impatto su attività sportive o di esecuzione musicale

Punteggio

- Range: **0 (nessuna disabilità) – 100 (massima disabilità)**
- Per calcolare il punteggio il paziente deve rispondere ad **almeno 10 degli 11 item**
- Formula: $[(\text{somma delle risposte} / \text{n}^\circ \text{ risposte}) - 1] \times 25$ **MCID** (Minimal Clinically Important Difference): circa **8-15 punti** a seconda della patologia.

Questionario per l'arto superiore **QuickDASH**

(Disability of the Arm, Shoulder and Hand) Italian Version

Istruzioni: Il presente questionario riguarda i Suoi sintomi e la Sua capacità di compiere alcune azioni. Risponda a **ogni domanda** facendo riferimento al Suo stato durante l'ultima settimana. Se non ha avuto l'opportunità di eseguire una delle azioni durante l'ultima settimana, risponda alla domanda **provando a immaginare** come avrebbe potuto eseguirla. Non importa con quale mano o braccio Lei esegue l'azione; risponda in base alla Sua capacità di compierla e senza tenere conto del modo in cui la compie.

Valuti la sua capacità di eseguire le seguenti azioni durante l'ultima settimana. (Indichi un numero)

	Nessuna difficoltà	Lieve difficoltà	Discreta difficoltà	Notevole difficoltà	Non ci sono riuscito
1. Svitare il coperchio di un barattolo ben chiuso o nuovo.	1	2	3	4	5
2. Fare lavori domestici pesanti (es. lavare i pavimenti o i vetri)	1	2	3	4	5
3. Portare la borsa della spesa o una ventiquattrore	1	2	3	4	5
4. Lavarsi la schiena	1	2	3	4	5
5. Usare un coltello per tagliare del cibo	1	2	3	4	5
6. Attività ricreative nelle quali si fa forza o si prendono colpi sul braccio, sulla spalla o sulla mano (es. usare il martello, giocare a tennis o a golf, ecc.)	1	2	3	4	5

Durante la settimana passata, in che misura il suo problema al braccio, alla spalla o alla mano ha interferito con le normali attività sociali con la famiglia, gli amici, i vicini di casa i gruppi di cui fa parte? (Indichi un numero)

	Per nulla	Molto poco	Un po'	Molto	Moltissimo
7.	1	2	3	4	5

Durante la settimana passata è stato limitato nel suo lavoro o in altre attività quotidiane abituali a causa del suo problema al braccio, alla spalla o alla mano? (Indichi un numero)

	Non mi ha limitato per nulla	Mi ha limitato leggermente	Mi ha limitato discretamente	Mi ha limitato molto	Non ci sono riuscito
8.	1	2	3	4	5

Valuti l'intensità dei seguenti sintomi durante l'ultima settimana. (Indichi un numero per ogni riga)

	Nessuno	Lieve	Discreto	Forte	Estremo
9. Dolore al braccio, alla spalla o alla mano	1	2	3	4	5
10. Formicolio (sensazione di punture di spillo) al braccio, alla spalla o alla mano	1	2	3	4	5

Durante l'ultima settimana quanta difficoltà ha incontrato nel dormire a causa del dolore al braccio, alla spalla o alla mano? (Indichi un numero)

	Nessuna difficoltà	Lieve difficoltà	Discreta difficoltà	Notevole difficoltà	Non sono riuscito a dormire
11.	1	2	3	4	5

Institute for Work & Health (IWH) 2003. All rights reserved.
Italian translation courtesy of GLOBE, Gruppo di Lavoro per l'Ortopedia Basata sulle prove di Efficacia

Questionario per l'arto superiore **QuickDASH**

(Disability of the Arm, Shoulder and Hand) Italian Version

MODULO LAVORATIVO (OPZIONALE)

Le seguenti domande si riferiscono all'impatto del suo problema al braccio, alla spalla o alla mano sul suo lavoro (compreso il lavoro in casa se questa è la sua attività principale).

Indichi qual è il suo lavoro/attività: _____

Indichi su ogni riga il numero che meglio descrive la sua capacità fisica durante l'ultima settimana.

Ha avuto difficoltà:

	Nessuna difficoltà	Lieve difficoltà	Discreta difficoltà	Notevole difficoltà	Non ci sono riuscito
12. A utilizzare la Sua tecnica abituale per lavorare?	1	2	3	4	5
13. A svolgere il Suo lavoro abituale a causa del dolore al braccio, alla spalla o alla mano?	1	2	3	4	5
14. A fare il lavoro bene come vorrebbe?	1	2	3	4	5
15. A dedicare al Suo lavoro la consueta quantità di tempo?	1	2	3	4	5

MODULO ATTIVITÀ SPORTIVE/RICREATIVE (OPZIONALE)

Le seguenti domande si riferiscono all'impatto del Suo problema al braccio, alla spalla o alla mano sulla Sua capacità di suonare il Suo strumento musicale o praticare il Suo sport, o su entrambe le attività.

Se pratica più di uno sport o suona più di uno strumento (o fa entrambe le cose) risponda facendo riferimento all'attività che è più importante per lei.

Indichi quale sport o strumento è il più importante per lei: _____

Indichi su ogni riga il numero che meglio descrive la sua capacità fisica durante l'ultima settimana.

Ha avuto difficoltà:

	Nessuna difficoltà	Lieve difficoltà	Discreta difficoltà	Notevole difficoltà	Non ci sono riuscito
16. A utilizzare la Sua tecnica abituale per suonare il suo strumento o praticare il suo sport?	1	2	3	4	5
17. A suonare il suo strumento o praticare il suo sport a causa del dolore al braccio, alla spalla o alla mano?	1	2	3	4	5
18. A suonare il suo strumento o praticare il suo sport bene come vorrebbe?	1	2	3	4	5
19. A dedicare al suo strumento o al suo sport la consueta quantità di tempo?	1	2	3	4	5

Institute for Work & Health (IWH) 2003. All rights reserved.
Italian translation courtesy of GLOBE, Gruppo di Lavoro per l'Ortopedia Basata sulle prove di Efficacia

Figura 18. QuickDASH.

Tabella 1. Confronto tra il Constant-Murley Score (CMS) e il QuickDASH

Caratteristica	Constant-Murley Score (CMS)	QuickDASH
Tipologia	Clinician-reported (compilato dal professionista sanitario)	Patient-reported (autosomministrato dal paziente)
Anno di sviluppo	1987 (Constant & Murley)	2005 (Beaton et al.)
Distretto valutato	Articolazione della spalla	Intero arto superiore (spalla, gomito, polso, mano)
Numero di item	4 domini valutativi	11 item obbligatori + 2 moduli opzionali (lavoro, sport/musica)
Domini indagati	Dolore (15 pt) ADL (20 pt) ROM (40 pt) Forza (25 pt)	Sintomi (dolore, parestesie, rigidità) Funzione nelle ADL
Range di punteggio	0 – 100	0 – 100
Interpretazione	Punteggio ALTO = migliore funzionalità	Punteggio ALTO = maggiore disabilità
Tempo di compilazione	10 – 15 minuti (richiede esame clinico)	3 – 5 minuti (autosomministrato)
MCID	≈ 10 – 17 punti (variabile per patologia)	≈ 8 – 15 punti (variabile per patologia)
Indicazioni d'uso	Patologie specifiche della spalla (cuffia dei rotatori, fratture, instabilità, capsulite)	Disabilità globale dell'arto superiore in qualsiasi patologia muscoloscheletrica

Tabella 1. **Legenda:** ADL = Activities of Daily Living (attività della vita quotidiana); ROM = Range of Motion (range articolare); MCID = Minimal Clinically Important Difference (minima differenza clinicamente rilevante); CMS-IT = versione italiana del Constant-Murley score.

3.4 Sensori inerziali Showmotion™

L'analisi cinematica è stata condotta mediante il sistema Showmotion™ (NCS Lab S.r.l., Carpi, Modena, Italia), una piattaforma di motion capture basata su sensori inerziali e magnetici wireless (Magnetic and Inertial Measurement Units, MIMU) denominati WISE, sviluppati dallo stesso produttore. Tale tecnologia consente, grazie all'integrazione dei dati acquisiti dai MIMU e all'utilizzo di protocolli validati per l'arto superiore e inferiore, di misurare, oggettivare e archiviare le variabili cinematiche tridimensionali del movimento in tempo reale, rappresentando una valida alternativa ai sistemi tradizionali di analisi del movimento basati su telecamere, generalmente confinati a laboratori specializzati. L'accuratezza del sistema è stata oggetto di validazione mediante studio su cadavere, attraverso il confronto diretto tra sensori ancorati direttamente alla scapola e sensori posizionati superficialmente sulla cute, e l'applicazione del protocollo inter- e intra-operatore ha riportato un errore quadratico medio (RMSE) inferiore a 4°, a conferma della elevata riproducibilità ed efficacia della metodica.

3.4.1 Posizionamento dei sensori e setup strumentale

Per ciascun soggetto è stata preliminarmente creata una scheda anagrafica all'interno del software. È stata quindi impostata un'analisi bilaterale dell'arto superiore (*Upper Limb*), comprendente esercizi di flessione-estensione e abduzione-adduzione. Il sistema prevede l'applicazione di sette sensori sul soggetto, ciascuno collocato in corrispondenza di specifici reperi anatomici al fine di garantire una rilevazione affidabile della cinematica scapolo-omerale. Tutti i sensori sono dotati di indicatori LED che ne segnalano l'attivazione e il corretto funzionamento e il loro orientamento deve essere rispettato scrupolosamente per assicurare la coerenza dei sistemi di riferimento anatomici utilizzati dal software.

Sensore scapolare. Viene posizionato sulla scapola del soggetto, identificando preliminarmente la spina della scapola mediante palpazione. Il sensore è collocato a livello del terzo mediale al di sotto della spina, con le luci LED rivolte verso l'esterno (lateralmente). Tale posizionamento risulta cruciale, in quanto la scapola è la struttura ossea il cui movimento si intende caratterizzare nei tre piani di libertà; un'eventuale imprecisione nel posizionamento di questo sensore può infatti compromettere significativamente l'attendibilità delle misurazioni.



Figura 19. Posizionamento del sensore scapolare.

Sensore omerale. Viene applicato sul terzo medio dell'omero mediante un'apposita fascia elastica regolabile che ne garantisce la stabilità e la corretta aderenza al segmento osseo durante l'esecuzione dei movimenti. Tale sensore consente di rilevare i gradi di flessione-estensione, abduzione-adduzione e rotazione interna-esterna dell'omero, parametri fondamentali per la successiva valutazione del ritmo scapolo-omeroale.



Figura 20. Posizionamento del sensore omerale.

Sensore avambraccio. Viene posizionato a livello della superficie dorsale del terzo distale dell'avambraccio. Anche questi vengono fissati con apposite fascette elastiche. Tali sensori sono impiegati esclusivamente per l'acquisizione delle rotazioni della gleno-omeroale con la spalla abdotta a 90°

Sensore toracico. Viene collocato a livello dello sterno e funge da riferimento per il tronco, costituendo il sistema di coordinate rispetto al quale vengono espressi i movimenti della scapola e dell'omero. Il corretto posizionamento del sensore toracico è essenziale per definire l'orientamento globale del soggetto e per garantire l'attendibilità delle rotazioni misurate.



Figura 21. Posizionamento del sensore toracico.

Una volta verificata la corretta configurazione del gateway, i sensori sono stati attivati mediante pressione prolungata del tasto laterale per circa uno o due secondi e, ad avvenuto collegamento (confermato dall'indicatore verde sul monitor) si è proceduto alla fase di calibrazione.

3.4.2 Calibrazione statica e dinamica

Durante la calibrazione, il paziente viene istruito a mantenere una posizione immobile, con gli arti superiori rilassati lungo il corpo fino al completamento della procedura. In aggiunta, oltre a questa fase statica, vengono aggiunti due movimenti di flesso-estensione non massimale del gomito, con il pollice verso l'alto e senza prono-supinare, e di prono-supinazione dell'avambraccio con gomito a 90 gradi. Conclusa tale fase sono stati selezionati gli esercizi previsti dal protocollo, ciascuno eseguito per circa sette ripetizioni, a velocità moderata e costante, evitando bruschi cambi di ritmo e mantenendo un adeguato controllo motorio durante l'intero range articolare.

3.4.3 Protocollo di esecuzione degli esercizi

Il protocollo prevede l'esecuzione di quattro esercizi standardizzati, ciascuno ripetuto circa quindici volte a velocità moderata e costante, con monitoraggio continuo del tracciato grafico in tempo reale. Eventuali alterazioni marcate del grafico possono essere indicative di un errato posizionamento o di uno spostamento dei sensori, e richiedono pertanto una verifica immediata del setup. Durante l'intera acquisizione, l'operatore monitora attentamente l'eventuale insorgenza di compensi a carico dell'articolazione scapolo-toracica, in particolare l'elevazione della spalla, che potrebbero compromettere l'attendibilità delle misurazioni.

Flesso-estensione. Il movimento viene eseguito sul piano sagittale con i pollici rivolti verso l'alto e il gomito in completa estensione, al fine di standardizzare l'orientamento dell'arto.

Abduzione-adduzione. Il movimento si svolge sul piano frontale con i pollici rivolti verso l'alto e il gomito completamente esteso; il paziente deve mantenere il piano di abduzione a 90° anche nei gradi estremi del ROM, evitando deviazioni anteriori o posteriori.

Extrarotazione. Partendo con il braccio adeso al tronco, il gomito flesso a 90° e gli avambracci paralleli tra loro, il paziente esegue la rotazione esterna dell'omero e torna alla posizione iniziale senza superarla in direzione di intrarotazione, che falserebbe la lettura del range articolare.

Intrarotazione. Esercizio di maggiore complessità esecutiva e propriocettiva. Con le braccia addotte a 90°, i gomiti flessi a 90° e gli avambracci paralleli al suolo, il paziente esegue la rotazione interna dell'omero e torna alla posizione iniziale senza superarla in direzione di extrarotazione. È essenziale mantenere il gomito a un'altezza costante per tutta la durata dell'esercizio; ove necessario, l'operatore può supportare manualmente il paziente, evitando di forzare la rotazione oltre i limiti fisiologici.

Una breve precisazione sugli ultimi due esercizi: la scelta di eseguire l'extrarotazione a braccio addotto (0°) e l'intrarotazione con braccio addotto a 90° permette di esplorare entrambi i gradi di libertà rotazionali in condizioni funzionali distinte, aggirando possibili impedimenti fisici e permettendo un'escursione maggiore.

Al termine della sessione, l'analisi è stata salvata all'interno del database del software per le successive elaborazioni.

3.4.4 Lettura e interpretazione dei grafici

Il software restituisce una rappresentazione grafica della cinematica scapolo-omerale in cui sull'asse delle ascisse sono riportati i gradi di flessione, abduzione o rotazione dell'omero, mentre sull'asse delle ordinate sono espressi i gradi di rotazione scapolare nei tre piani di libertà: tilt anteriore-posteriore, protrazione-retrazione e rotazione esterna-interna (up-downward rotation). L'area sottesa dal grafico in colore verde rappresenta il range di normalità di riferimento, mentre la curva di analisi consente di valutare il comportamento scapolare del soggetto rispetto a tale intervallo.

Le variabili indagate comprendono il ritmo scapolo-omerale, il range articolare dell'omero (flessione-estensione, abduzione-adduzione e rotazione esterna-interna) e quello della scapola (protrazione-retrazione, rotazione up-down e tilt antero-posteriore).

L'interpretazione del tracciato si basa sull'analisi di quattro parametri principali:

- la collocazione della curva all'interno o all'esterno dell'area di normalità calcolata su un gruppo di 30 soggetti giovani adulti senza patologie note;
- l'entità dello scostamento rispetto alla curva ideale, specificando in quale fase del ROM (elevazione o depressione) si manifesta;
- la presenza di isteresi, intesa come disallineamento tra la fase di andata e quella di ritorno, espressione di differenti schemi di reclutamento muscolare;
- la ripetibilità tra le diverse ripetizioni, indicativa del controllo motorio e propriocettivo del soggetto.

In questo modo è possibile identificare la tipologia di alterazione scapolare e definirne il range articolare di insorgenza, fornendo informazioni quantitative utili sia in fase diagnostica sia nella pianificazione del percorso riabilitativo.

4. RISULTATI

I dati riportati in questo capitolo sono stati acquisiti mediante il sistema a sensori inerziali Showmotion™ (NCS Lab S.r.l., Carpi, Modena) e successivamente elaborati con l'obiettivo di confrontare il comportamento del cingolo scapolare tra il gruppo con recupero articolare favorevole (ROM buono, N = 20) e quello con recupero limitato (ROM limitato, N = 13). Dopo la definizione delle convenzioni di misura e delle variabili, vengono presentati nell'ordine:

- il confronto basale dei due gruppi;
- l'analisi globale delle curve scapolo-toraciche risultanti dagli esercizi proposti;
- l'analisi e il confronto statistico tra i due gruppi di ROM (buono e limitato), condotto per ciascun esercizio alle ampiezze omerali crescenti di 30°, 60° e 90°;
- l'analisi dell'influenza esercitata da alcune variabili cliniche e demografiche, parametri non presenti nel meccanismo causale ma che possono spiegare parte della variabilità degli outcome ottenuti.

4.1 Convenzioni di misura e definizioni delle variabili

Il movimento della scapola rispetto al torace è stato scomposto, per ciascun istante dell'atto, lungo i tre gradi di libertà rotazionali dell'articolazione scapolo-toracica, identificati dal software mediante tre assi cartesiani. I grafici riportano dati grezzi estrapolati dal sistema Showmotion™, con il movimento scapolo-omeroale (flessione, abduzione, rotazioni) in ascissa e il contributo scapolo-toracico (ST) in ordinata. I semiassi positivi indicano rispettivamente la protrazione, la rotazione esterna e il tilt anteriore; i semiassi negativi la retrazione, la rotazione interna e il tilt posteriore. La corrispondenza tra asse e piano anatomico è la seguente:

- **asse x:** protrazione / retrazione (rotazione interna–esterna della scapola sul piano orizzontale);
- **asse y:** rotazione esterna / interna (up–downward rotation, ossia rotazione superiore e inferiore della scapola);
- **asse z:** tilt anteriore / posteriore (basculamento sul piano sagittale).

Per ognuno dei tre piani sono state considerate tre grandezze complementari, che ritornano in modo sistematico nelle tabelle dell'analisi puntuale:

- **rotazione scapolare assoluta:** ampiezza, espressa in gradi, della rotazione della scapola nel piano considerato;
- **differenza omero-scapola (Δ):** differenza, in gradi, tra l'escursione dell'omero e la corrispondente rotazione scapolare; tale quantità approssima la componente gleno-omeroale del movimento, ovvero la quota di escursione imputabile all'articolazione gleno-omeroale e, quindi, all'articolazione *protesica*;
- **quota gleno-omeroale (%):** rapporto percentuale tra la componente gleno-omeroale e l'escursione omeroale totale; il complemento a 100 esprime la quota di movimento sostenuta dal compenso scapolo-toracico, dato centrale del nostro lavoro.

Sul piano statistico sono stati adottati tre approcci complementari: **(i)** un confronto globale tra le curve di cinematica scapolare dei due gruppi lungo l'intero arco di movimento; **(ii)** un confronto tra i compensi scapolo-toracici esercitati dai gruppi a diverso ROM agli angoli omerali di 30°, 60° e 90°; **(iii)** un'analisi a modelli che valuta l'influenza di variabili cliniche e demografiche (età, sesso, soddisfazione, numero di sedute) sugli esiti cinematici, all'interno di ciascun gruppo e nell'interazione tra gruppo e variabile.

4.2 Analisi globale delle curve scapolo-toraciche

Il primo livello di analisi ha confrontato l'andamento complessivo delle curve di cinematica scapolare — ossia l'intera traiettoria della curva lungo tutto l'asse di movimento — tra i due gruppi, separatamente per ciascuno dei quattro esercizi e per ciascuno dei tre piani. Il risultato è netto e omogeneo: **in tutti gli esercizi svolti, la differenza tra il gruppo con ROM buono e quello con ROM limitato è risultata altamente significativa su tutti i piani scapolari, suggerendo l'esistenza di pattern distinti tra le due realtà e discriminando nettamente chi ha recuperato bene da chi ha recuperato male.** Le Figure 23 - 34 rappresentano graficamente le curve corrispondenti.

Considerando l'insieme dei tre piani di libertà scapolare e la totalità dei gesti esaminati, i due gruppi differiscono in modo importante nella modalità complessiva con cui la scapola accompagna il movimento dell'omero. La differenza, dunque investe in maniera trasversale l'intero comportamento del cingolo scapolare. Ciò indica che il pattern di reclutamento e di compenso scapolo-toracico costituisce un elemento differenziante di primo piano tra chi consegue un recupero articolare favorevole e chi presenta una limitazione

del ROM. I paragrafi seguenti illustrano, esercizio per esercizio, l'andamento delle singole curve. Su tutti e tre i piani il confronto globale tra le curve è altamente significativo ($p < 0,001$).

4.2.1 Esercizio 1 — Flesso-estensione (H-FIEx)

Nella flesso-estensione le curve coprono l'arco più ampio: il gruppo con ROM buono raggiunge una flessione di circa 120° contro i circa 95° del gruppo con ROM limitato, coerentemente con la migliore escursione articolare che ne definisce l'appartenenza.

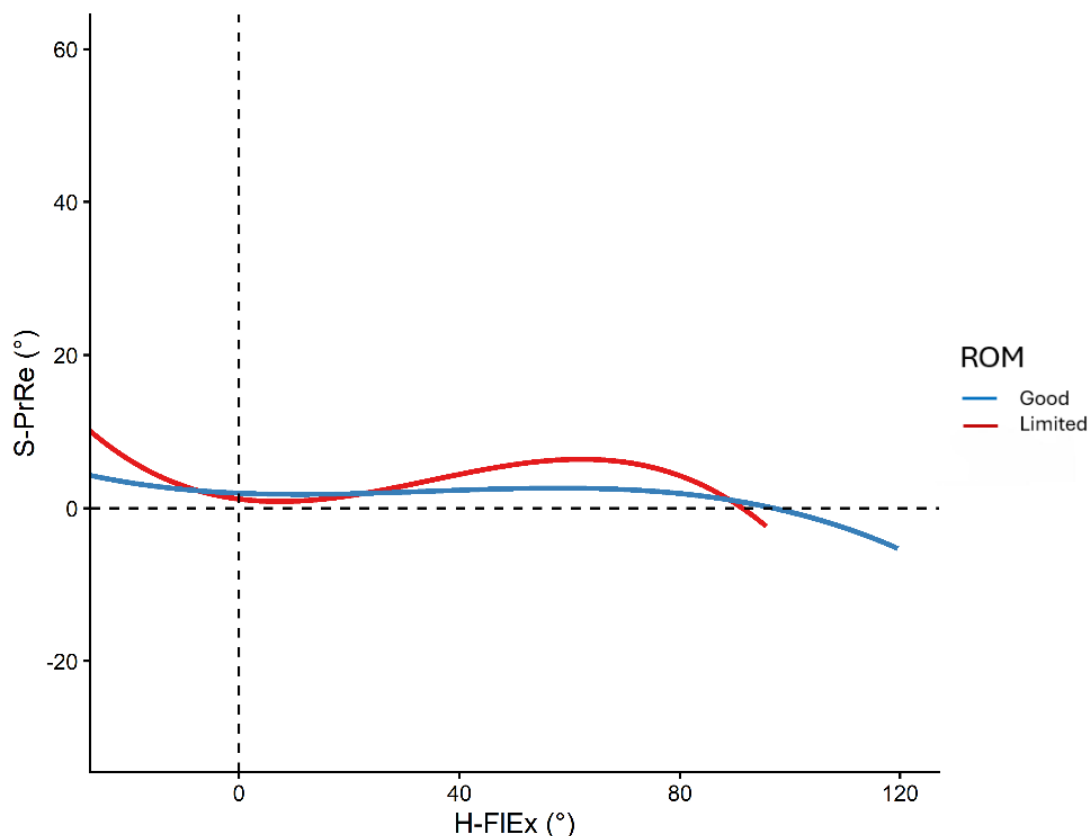


Figura 22. Flesso-estensione: protrazione/retrazione scapolare (S-PrRe) in funzione della flessione omerale (H-FIEx).
Blu = ROM buono; rosso = ROM limitato.

Sul piano della protrazione/retrazione il gruppo con ROM buono (blu) mantiene una curva contenuta e prossima alla neutralità: da circa $+4^\circ$ nelle fasi iniziali si stabilizza tra $+2^\circ$ e $+3^\circ$ per gran parte dell'arco per poi declinare verso circa -5° in massima flessione. Il gruppo con ROM limitato (rosso) descrive invece un andamento marcatamente ondulato, con un picco di protrazione di circa $+6/+7^\circ$ intorno ai 60° di flessione, seguito da una discesa che attraversa lo zero verso i $90-95^\circ$. L'eccesso di protrazione nel medio range osservabile nel gruppo limitato è clinicamente riconducibile a un deficit dei romboidi e/o del sottospinato.

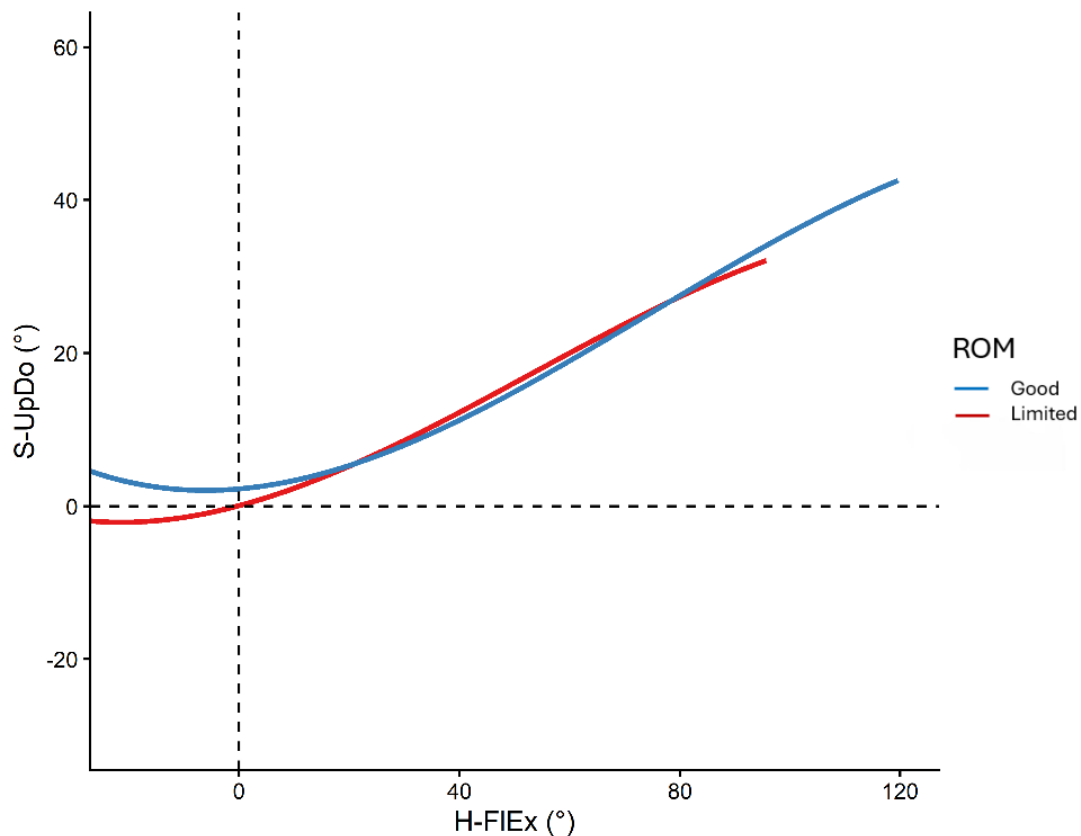


Figura 23. Flesso-estensione: rotazione scapolare up/down (S-UpDo) in funzione della flessione omerale (H-FIEx). Blu = ROM buono; rosso = ROM limitato.

La rotazione esterna (up) cresce in modo progressivo con la flessione in entrambi i gruppi, come atteso. Le due curve sono pressoché sovrapposte nel tratto centrale (circa 20–80°) e divergono agli estremi: il gruppo con ROM buono (blu) parte da valori lievemente superiori (circa +5°) e prosegue fino a circa +42° in massima flessione (~120°), mentre il gruppo con ROM limitato (rosso) parte intorno a -2° e si arresta a circa +31° (~95°). La differenza riguarda quindi soprattutto l'ampiezza complessiva dell'arco percorso più che la pendenza nel range intermedio.

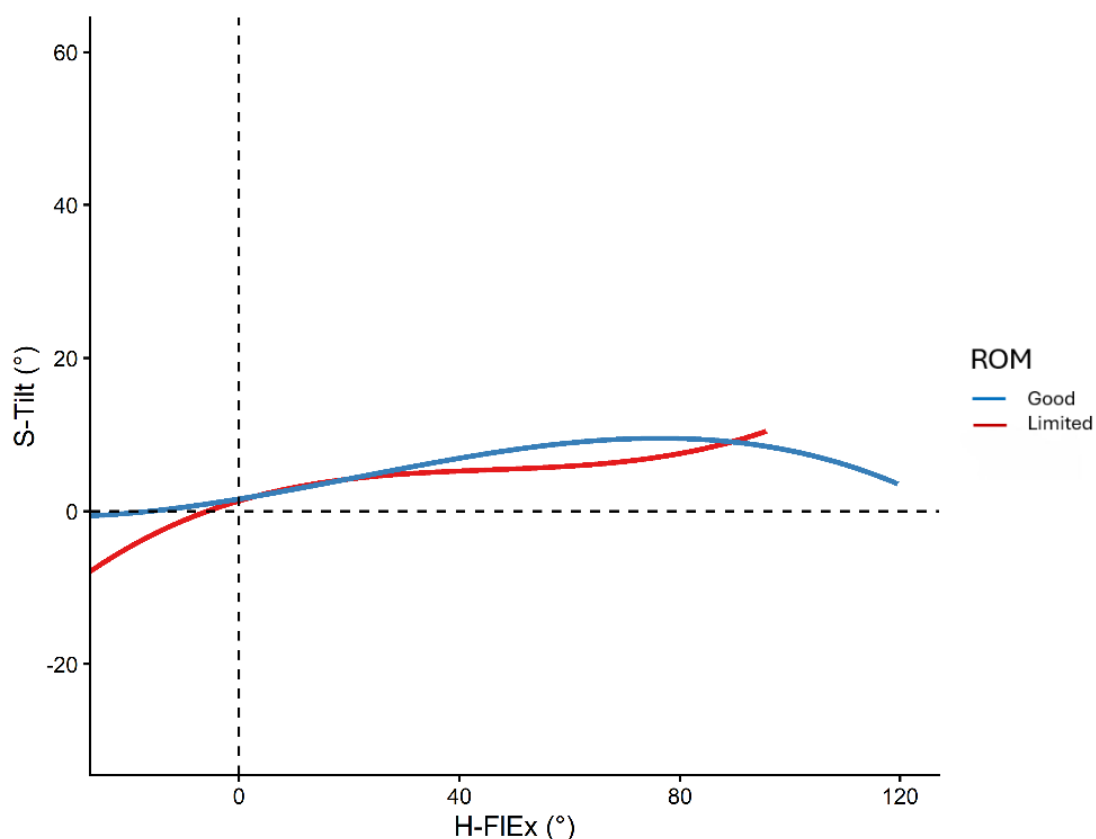


Figura 24. Flesso-estensione: tilt scapolare anteriore/posteriore (S-Tilt) in funzione della flessione omerale (H-Flex).
Blu = ROM buono; rosso = ROM limitato.

Sul piano del tilt entrambi i gruppi passano da un tilt anteriore iniziale a un tilt posteriore crescente. Il gruppo con ROM limitato (rosso) presenta il tilt anteriore più marcato nelle fasi iniziali (circa -9° in estensione), risale attraversando lo zero e raggiunge un tilt posteriore di circa $+11/+12^\circ$ a fine corsa ($\sim 95^\circ$). Il gruppo con ROM buono (blu) muove da un tilt sostanzialmente neutro (circa -1°), sale fino a un plateau di circa $+8/+9^\circ$ tra 60° e 90° e tende a ridursi verso $+4^\circ$ in massima flessione. Il tilt anteriore accentuato del gruppo con escursione limitata richiama un deficit del trapezio inferiore con iperattività del piccolo pettorale e/o del trapezio superiore.

4.2.2 Esercizio 2 — Abduzione-adduzione (H-AbAd)

Nell'abduzione-adduzione il gruppo con ROM buono raggiunge circa 125° di abduzione, contro i circa 92–95° del gruppo con ROM limitato.

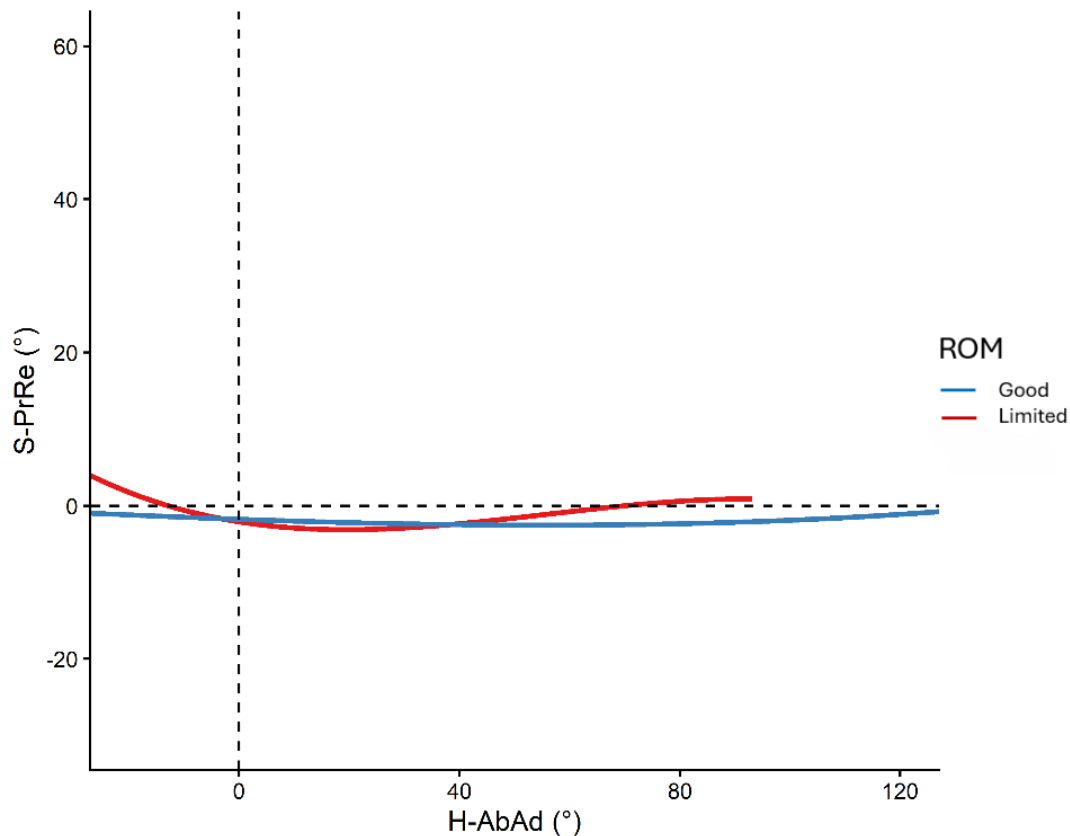


Figura 25. Abduzione-adduzione: protrazione/retrazione scapolare (S-PrRe) in funzione dell'abduzione omerale (H-AbAd). Blu = ROM buono; rosso = ROM limitato.

Il gruppo con ROM buono (blu) mantiene la curva di protrazione/retrazione molto piatta e lievemente negativa (retrazione contenuta, tra circa -1° e -3°) lungo tutto l'arco, fino a circa 125° . Il gruppo con ROM limitato (rosso) mostra invece un'escursione più ampia: parte da circa $+4^{\circ}$ di protrazione, scende a circa $-3/-4^{\circ}$ nel range $10-40^{\circ}$ e risale progressivamente arrivando fino a circa $+1/+2^{\circ}$ a fine corsa ($\sim 95^{\circ}$). Il gruppo con escursione limitata esprime dunque una maggiore mobilità scapolare di protrazione/retrazione sul piano orizzontale a fronte di un'abduzione complessiva inferiore.

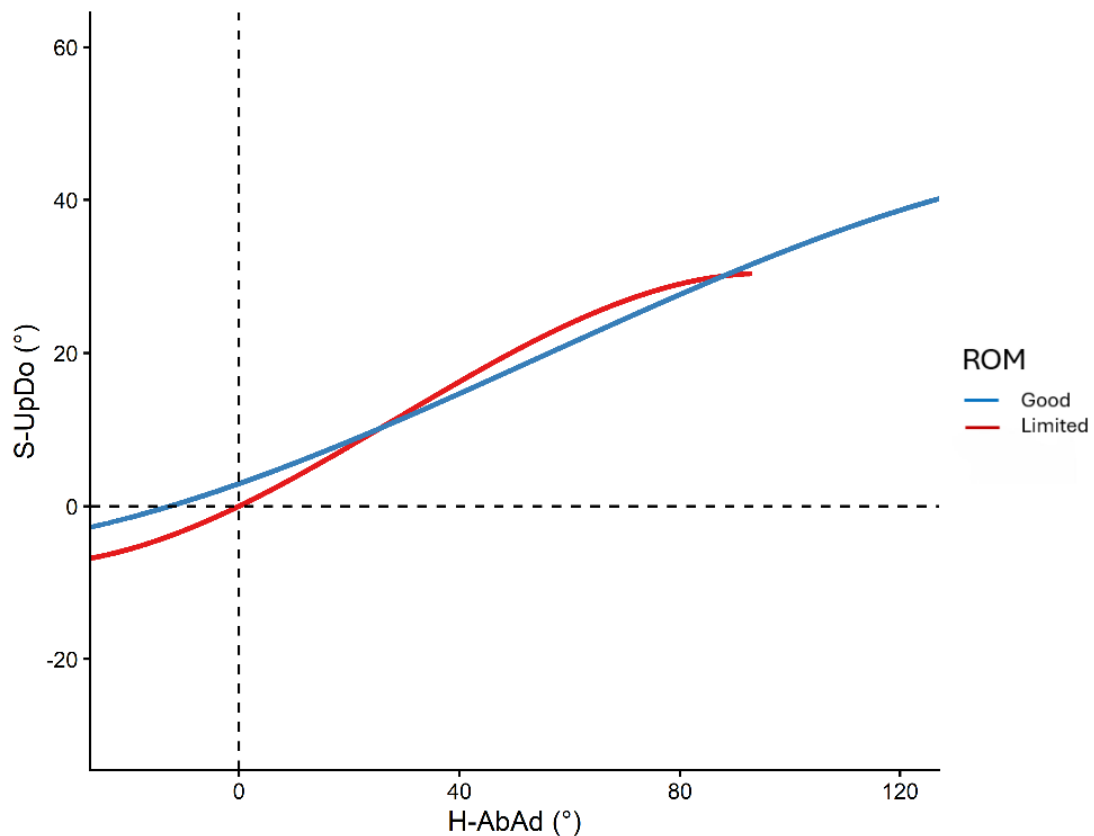


Figura 26. Abduzione-adduzione: rotazione scapolare up/down (S-UpDo) in funzione dell'abduzione omerale (H-AbAd). Blu = ROM buono; rosso = ROM limitato.

La rotazione esterna è il movimento principale dell'abduzione e cresce in entrambi i gruppi. Il gruppo con ROM buono (blu) descrive una salita regolare, quasi lineare, da circa -3° fino a circa $+40^{\circ}$ in massima abduzione ($\sim 125^{\circ}$). Il gruppo con ROM limitato (rosso) segue un andamento più sigmoide con salita più ripida nel medio range, raggiungendo un plateau intorno a $+30^{\circ}$ e arrestandosi a circa 92° . Il ritmo scapolo-omerale del gruppo con buona escursione di movimento appare quindi più graduale e prolungato.

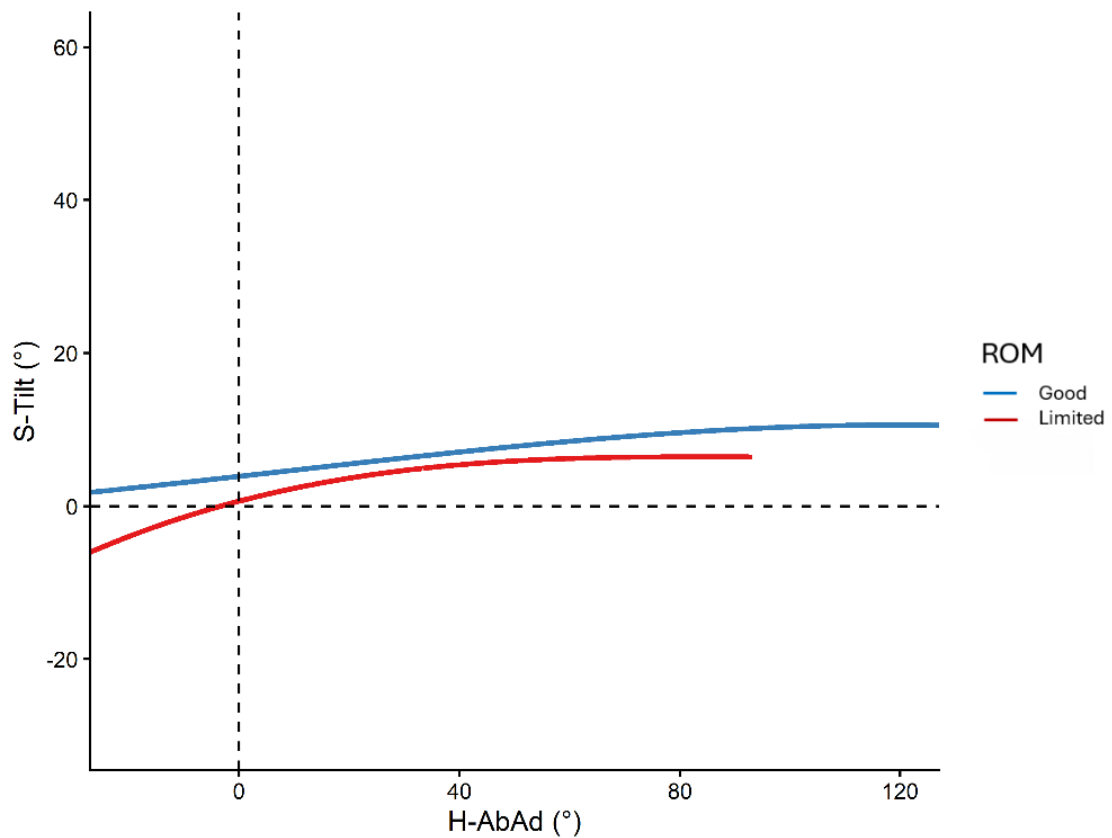


Figura 27. Abduzione-adduzione: tilt scapolare anteriore/posteriore (S-Tilt) in funzione dell'abduzione omerale (H-AbAd). Blu = ROM buono; rosso = ROM limitato.

Sul piano del tilt il gruppo con ROM buono (blu) si mantiene costantemente in tilt posteriore: da circa +2° iniziali sale gradualmente fino a circa +10/+11° in massima abduzione. Il gruppo con ROM limitato (rosso) parte invece da un tilt anteriore di circa -6°, attraversa lo zero e raggiunge un plateau di circa +6/+7°, fermandosi a ~92°. La presenza di tilt anteriore nelle fasi iniziali nel gruppo con range di movimento limitato è nuovamente compatibile con un deficit del trapezio inferiore.

4.2.3 Esercizio 3 — Extrarotazione (H-IRER 0)

L'extrarotazione è stata eseguita con il braccio addotto al tronco (rotazione a 0° di abduzione, asse H-IRER 0). Trattandosi di un gesto a piccola escursione, le curve coprono un intervallo ridotto e i dati sono disponibili su una numerosità molto bassa.

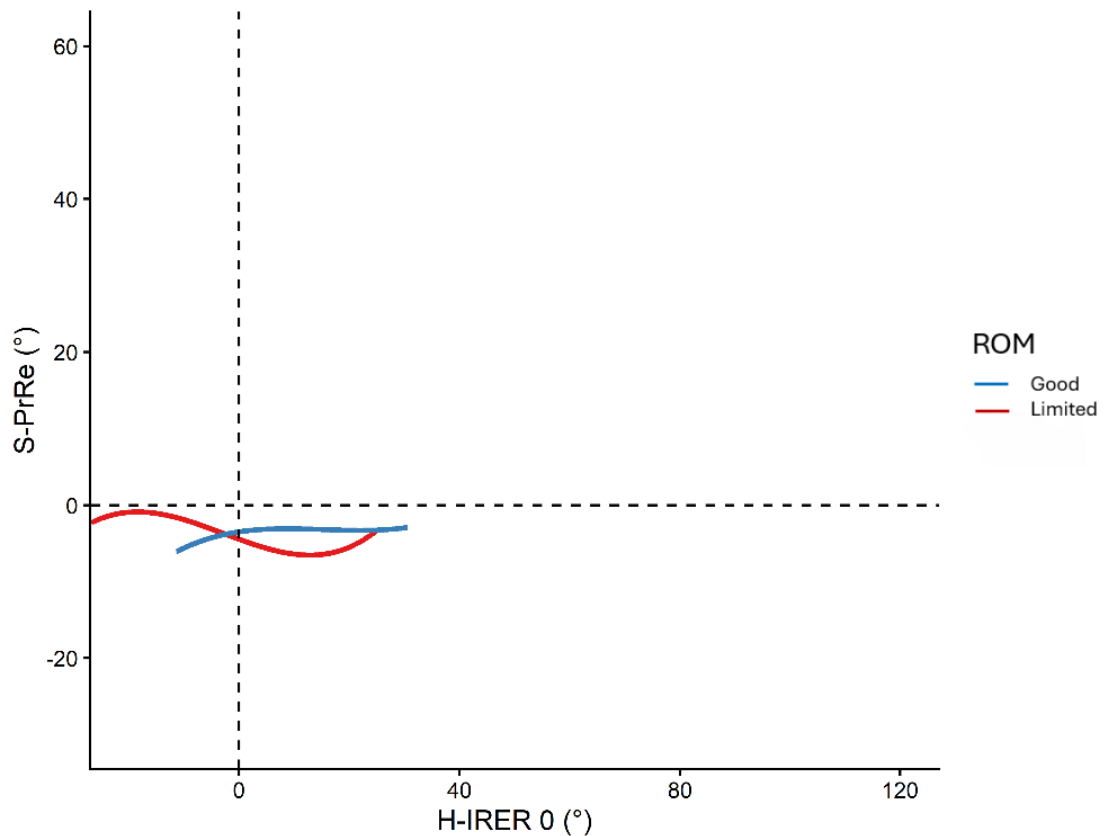


Figura 28. Extrarotazione: protrazione/retrazione scapolare (S-PrRe) in funzione della rotazione omerale a 0° di abduzione (H-IRER 0). Blu = ROM buono; rosso = ROM limitato.

Entrambi i gruppi si mantengono in lieve retrazione (valori negativi). Il gruppo con ROM buono (blu) descrive un breve tratto pressoché regolare, da circa -6° a circa $-3/-4^\circ$. Il gruppo con ROM limitato (rosso) presenta un andamento più ondulato, con un avvallamento fino a circa -7° .

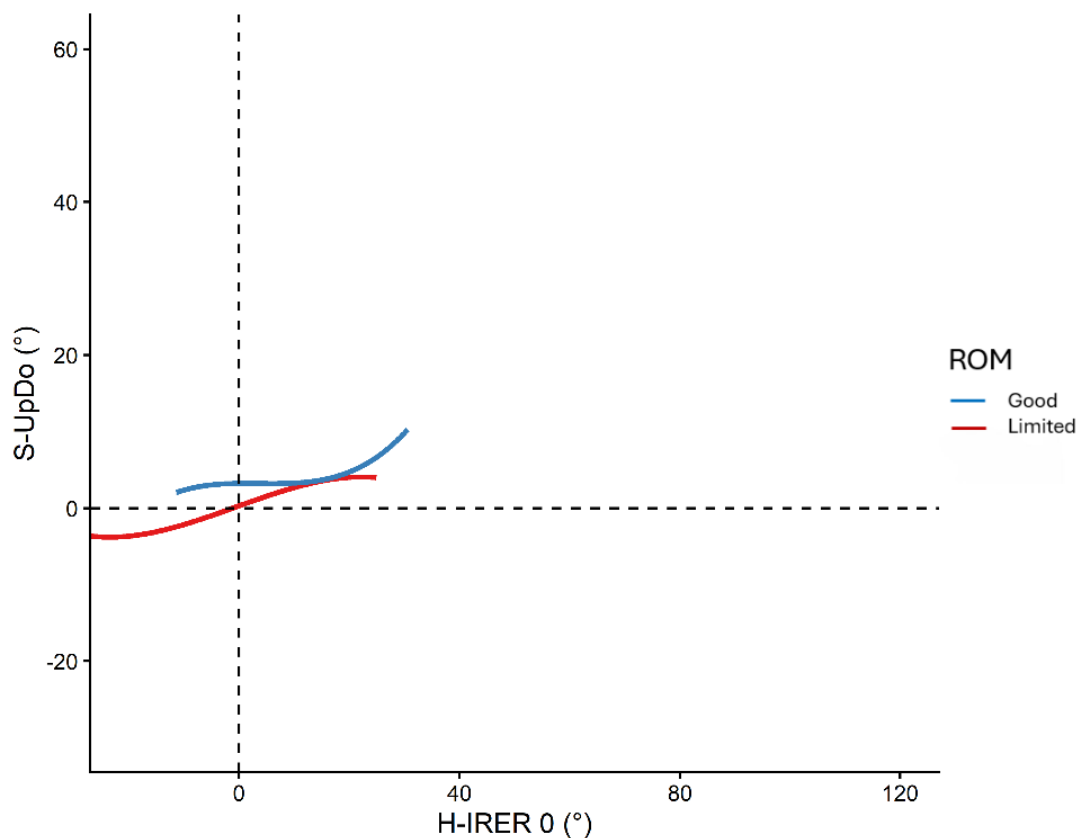


Figura 29. Extrarotazione: rotazione scapolare up/down (S-UpDo) in funzione della rotazione omerale a 0° di abduzione (H-IRER 0). Blu = ROM buono; rosso = ROM limitato.

La rotazione esterna (upward rotation) si mantiene su valori contenuti. Il gruppo con ROM buono (blu) muove da circa +2°, con un plateau intorno a +3/+4° e una risalita finale fino a circa +10°. Il gruppo con ROM limitato (rosso) sale in modo regolare da circa -4° fino a circa +4/+5°. Le curve restano in ogni caso prossime tra loro.

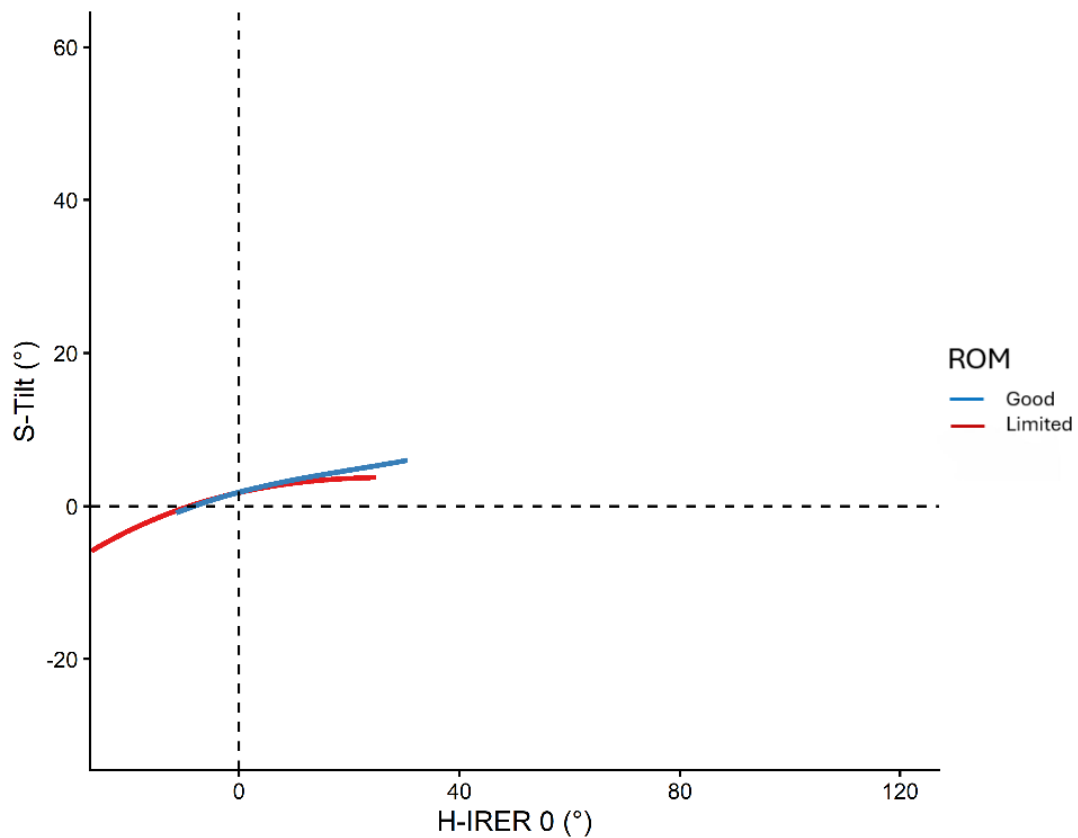


Figura 30. Extrarotazione: tilt scapolare anteriore/posteriore (S-Tilt) in funzione della rotazione omerale a 0° di abduzione (H-IRER 0). Blu = ROM buono; rosso = ROM limitato.

Sul piano del tilt entrambi i gruppi passano da un tilt anteriore a uno posteriore con il procedere della rotazione. Il gruppo con ROM buono (blu) sale da circa -1° a circa $+6^{\circ}$; il gruppo con ROM limitato (rosso) muove da un tilt anteriore più marcato (circa -6°) fino a circa $+4^{\circ}$. L'andamento è simile nei due gruppi, con un tilt anteriore iniziale più accentuato nel gruppo con range di movimento limitato.

4.2.4 Esercizio 4 — Intrarotazione (H-IRER 90)

L'intrarotazione è stata eseguita con il braccio abdotto a 90° (asse H-IRER 90). Il gruppo con ROM buono raggiunge circa 82° di escursione sull'asse di rotazione, contro i circa 68° del gruppo con ROM limitato.

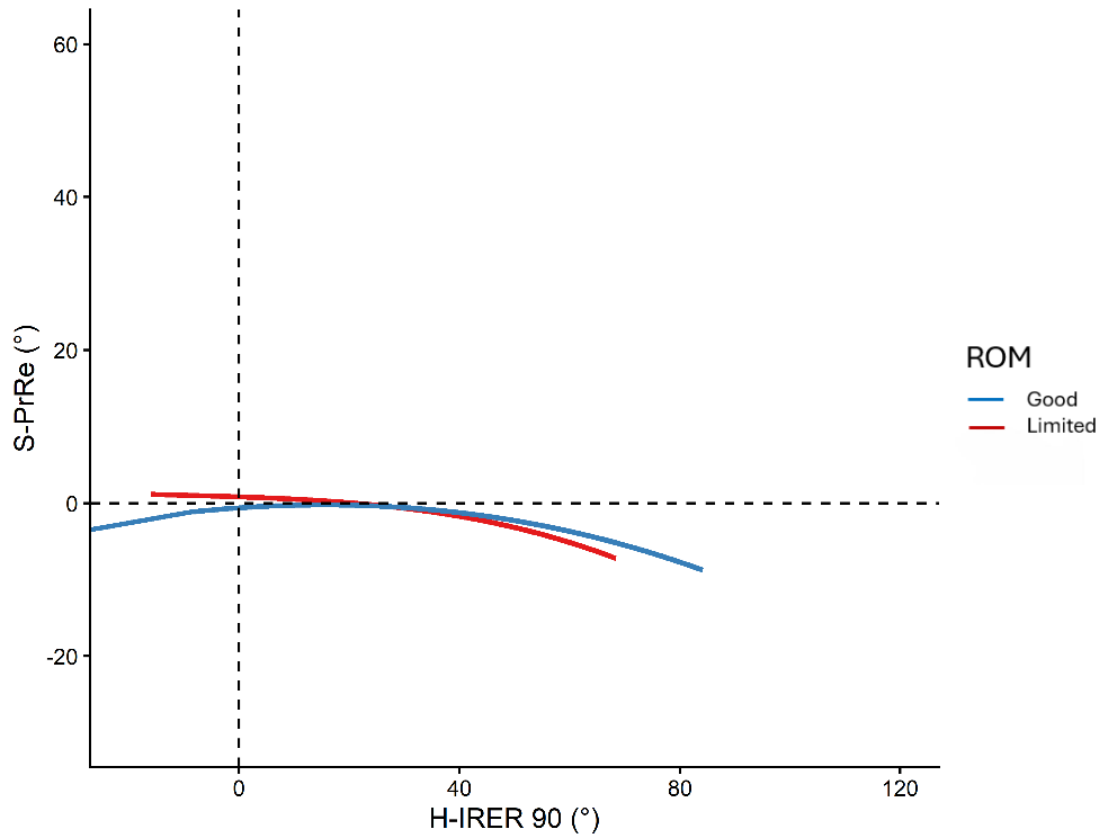


Figura 31. Intrarotazione: protrazione/retrazione scapolare (S-PrRe) in funzione della rotazione omerale a 90° di abduzione (H-IRER 90). Blu = ROM buono; rosso = ROM limitato.

Sul piano della protrazione/retrazione entrambi i gruppi terminano in retrazione. Il gruppo con ROM buono (blu) muove da circa -4°, risale verso lo zero nel tratto centrale e quindi scende fino a circa -9° a fine corsa (~82°). Il gruppo con ROM limitato (rosso) parte intorno a +1°, si mantiene prossimo allo zero e declina fino a circa -7° (~68°). La retrazione si accentua dunque nelle fasi finali in entrambi i gruppi, con escursione maggiore nel gruppo con buon range di movimento.

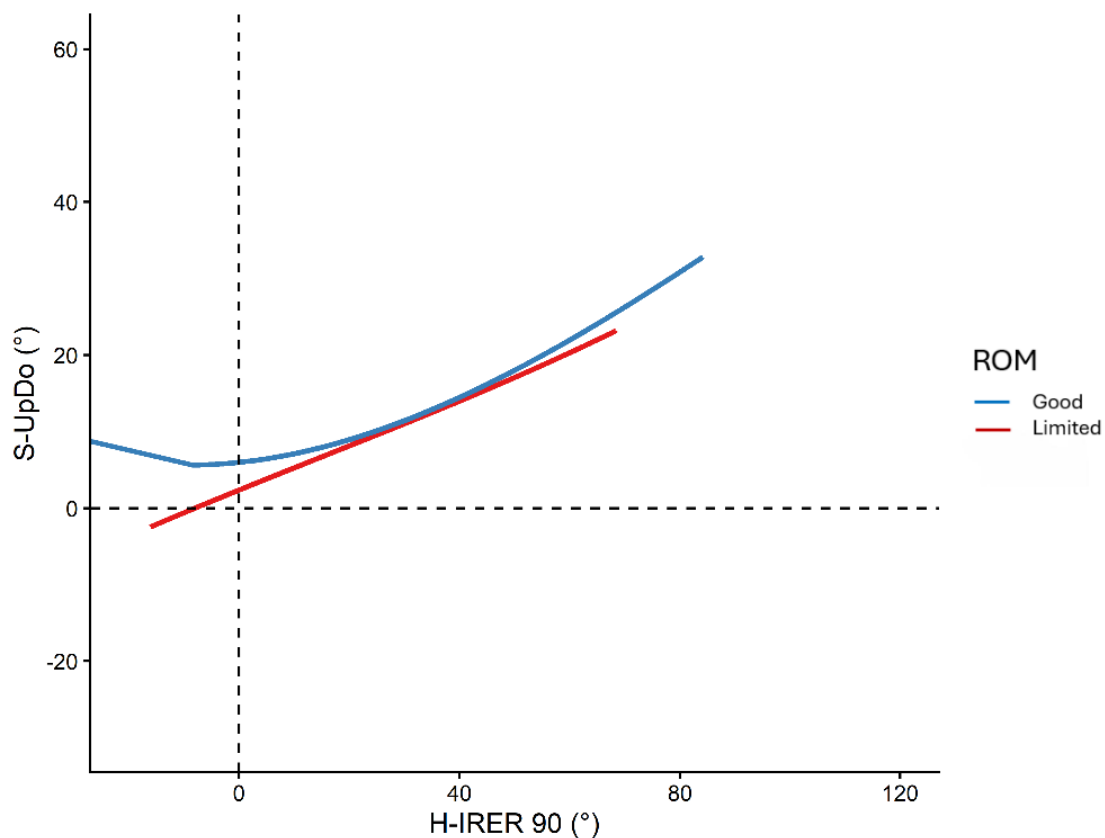


Figura 32. Intrarotazione: rotazione scapolare up/down (S-UpDo) in funzione della rotazione omerale a 90° di abduzione (H-IRER 90). Blu = ROM buono; rosso = ROM limitato.

La rotazione esterna cresce in modo regolare. Il gruppo con ROM buono (blu) muove da circa +9° (con un lieve avvallamento a circa +6° in prossimità dello zero) e risale fino a circa +32° a fine corsa (~82°). Il gruppo con ROM limitato (rosso) sale in maniera pressoché lineare da circa -2° fino a circa +23° (~68°). Le curve risultano quasi sovrapposte nel tratto centrale mentre tendono a divergere soprattutto agli estremi.

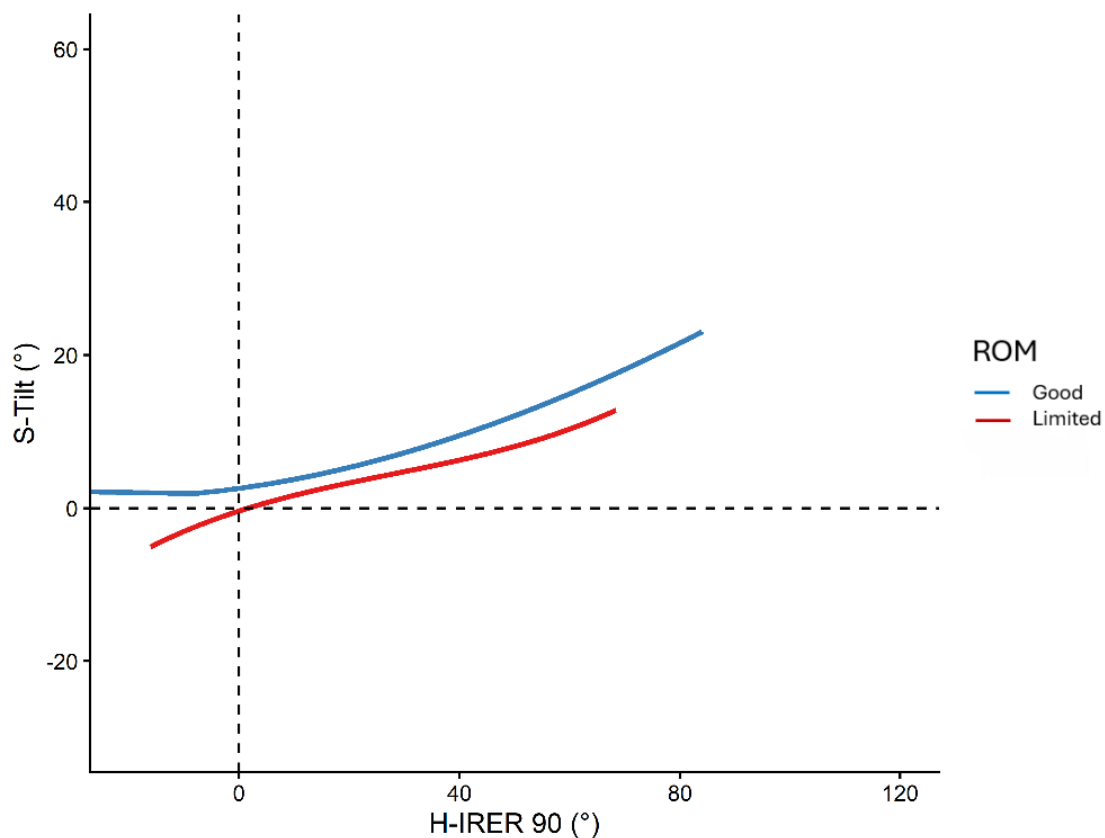


Figura 33. Intrarotazione: tilt scapolare anteriore/posteriore (S-Tilt) in funzione della rotazione omerale a 90° di abduzione (H-IRER 90). Blu = ROM buono; rosso = ROM limitato.

Sul piano del tilt il gruppo con ROM buono (blu) si mantiene in tilt posteriore, salendo da circa +2° fino a circa +23° a fine corsa, con un'ampia escursione. Il gruppo con ROM limitato (rosso) parte da un tilt anteriore di circa -5° e raggiunge circa +12/+13° (~68°). Anche in questo gesto il gruppo limitato muove da una posizione di tilt anteriore iniziale assente nel gruppo buono.

4.3 Analisi tra componente gleno-omeroale e compenso scapolo-toracico nel confronto tra ROM buono e ROM limitato

Il secondo livello di analisi ha confrontato le medie delle componenti gleno-omeroale e scapolo-toracica nei due sottogruppi — ROM buono e ROM limitato — per ciascun esercizio, assumendo come riferimento tre ampiezze omerali (30° , 60° e 90°) raggiunte dall'omero nel corso della propria escursione. Per ogni piano sono riportati il movimento scapolare assoluto, la componente gleno-omeroale (differenza omero–scapola) e le rispettive quote percentuali, corredate di media e deviazione standard per entrambi i gruppi.

In primo luogo, la rotazione esterna/interna si conferma il piano in cui il contributo scapolo-toracico è maggiore, a fronte di un compenso quantitativamente più contenuto nella protrazione/retrazione e nel tilt. In secondo luogo, la componente gleno-omeroale — espressione diretta dell'articolazione protesica — rimane nettamente prevalente in tutti i piani e a tutte le ampiezze a indicare come il compenso scapolare non si sostituisca al recupero dell'articolazione operata ma vi si affianchi, nonostante la marcata entità. Va sottolineato come possano subentrare altri fattori che vanno a coinvolgere il ROM della gleno-omeroale, come il posizionamento delle componenti che influenza il braccio di leva del deltoide e l'impingement con l'arco acromiale in elevazione. I due gruppi tendono a condividere la direzione generale degli andamenti, ma se ne distinguono per la loro regolarità: il gruppo a recupero favorevole descrive tendenze graduali e concordanti lungo l'arco di movimento, mentre quello a recupero limitato presenta transizioni più brusche e momenti di sovra-compenso più accentuati.

Sul piano descrittivo, coerentemente con la fisiologia del ritmo scapolo-omeroale, nei gesti di elevazione (flesso-estensione e abduzione-adduzione) la quota gleno-omeroale tende ad aumentare con il crescere dell'ampiezza nei piani della protrazione/retrazione e del tilt: qui il compenso scapolo-toracico, pur conservando un certo peso per ciascun esercizio, contribuisce in misura proporzionalmente minore nelle fasi terminali del movimento, quando l'escursione è sostenuta in prevalenza dall'articolazione protesica. Fa eccezione il piano della rotazione esterna/interna della scapola, nel quale il contributo scapolare non segue la medesima riduzione ma si mantiene elevato lungo l'intero arco, confermandosi in modo sistematico come il piano in cui il compenso scapolo-toracico raggiunge l'entità maggiore.

La predominanza del contributo scapolare si riflette anche nei gesti di extra- e intrarotazione, che si collocano nelle traiettorie cinematiche in cui il fenomeno del compenso appare più pronunciato.

4.3.1 Esercizio 1 — Flesso-estensione

Nella flesso-estensione la numerosità è massima e copre tutti e tre gli angoli presi in considerazione (N compreso tra 21 e 30), il che conferisce a questo esercizio maggior incisività. Nel piano della **protrazione/retrazione** i due gruppi mostrano un comportamento concordante: il contributo scapolo-toracico decresce in modo regolare con l'aumentare dell'elevazione, passando nel gruppo con ROM buono dal 15,4% a 30° al 9,8% a 90° e, in modo parallelo seppur su valori costantemente inferiori, nel gruppo con ROM limitato dal 13% all'8,3%. La sovrapponibilità dell'andamento suggerisce una sostanziale concordanza tra le due coorti in questo piano.

Comportamento opposto si osserva per la **rotazione esterna/interna**, dove il compenso scapolare cresce con l'elevazione e si mantiene mediamente superiore nelle spalle con ROM limitato (dal 29,1% al 34,7%) rispetto a quelle con ROM buono (dal 27,7% al 32,5%). Due aspetti meritano di essere sottolineati: a 60° il contributo scapolare risulta pressoché sovrapponibile tra i gruppi (30,6% in entrambi), e i valori complessivi — compresi tra il 27% e il 35% — testimoniano un contributo di notevole entità dell'articolazione scapolo-toracica all'esecuzione del movimento.

Il compenso in **tilt anteriore/posteriore** presenta un'entità più contenuta, nettamente inferiore a quella registrata in rotazione e di ordine paragonabile a quella della protrazione/retrazione. Esso prevale nel gruppo con ROM limitato ai gradi iniziali e intermedi (18,9% e 13,9% contro 13,6% e 12,5% del ROM buono), con un andamento complessivamente decrescente e una caduta marcata tra i 30° e i 60° (da 18,9% a 13,9%); a 90°, tuttavia, la relazione si inverte e il gruppo con ROM buono mostra un compenso lievemente superiore (12,4% contro 10,7%).

Sul versante opposto, la **quota gleno-omeroale** si conferma nettamente prevalente in tutti gli angoli e in tutti i piani non scendendo mai al di sotto del 65,3%, valore minimo osservato nella rotazione esterna/interna a 90° nel gruppo con ROM limitato.

Il suo andamento con l'elevazione non è però uniforme: cresce progressivamente nella protrazione/retrazione e nel tilt, dove specularmente il compenso scapolare si riduce, mentre diminuisce nella rotazione esterna/interna, piano in cui il progressivo aumento del contributo scapolare lungo l'arco di movimento si traduce in una corrispondente flessione della quota protesica.

Tabella 2. Esercizio 1 — Flesso-estensione: contributo scapolo-toracico e gleno-omeroale ai diversi livelli di ampiezza omerale (30°, 60° e 90°), suddiviso per gruppo di ROM post-operatorio.

Variabile	ROM buono (n = 20)		ROM limitato (n = 13)	
	Media	SD	Media	SD
Ampiezza omerale 30° — n = 30 pazienti				
Protrazione (+) / Retrazione (-)	3,65	4,77	2,23	5,39
ROM gleno-omeroale (Omero – Scapola)	26,25	4,63	27,78	5,35
<i>Compenso scapolo-toracico (%)</i>	15,4%	12,6%	13,0%	14,0%
<i>Contributo % gleno-omeroale</i>	84,6%	12,6%	87,0%	14,0%
Rotazione esterna (+) / interna (-)	8,26	5,13	8,27	5,43
ROM gleno-omeroale (Omero – Scapola)	21,64	5,24	21,74	5,45
<i>Compenso scapolo-toracico (%)</i>	27,7%	17,2%	29,1%	15,3%
<i>Contributo % gleno-omeroale</i>	72,3%	17,2%	70,9%	15,3%
Tilt posteriore (+) / anteriore (-)	3,77	3,70	4,55	5,09
ROM gleno-omeroale (Omero – Scapola)	26,13	3,63	25,46	5,08

Variabile	ROM buono (n = 20)		ROM limitato (n = 13)	
	Media	SD	Media	SD
<i>Compenso scapolo-toracico (%)</i>	13,6%	11,1%	18,9%	12,2%
<i>Contributo % gleno-omeroale</i>	86,4%	11,1%	81,1%	12,2%

Ampiezza omerale 60° — n = 27 pazienti				
Protrazione (+) / Retrazione (-)	5,24	8,03	4,01	7,40
ROM gleno-omeroale (Omero – Scapola)	54,49	8,18	56,04	7,41
<i>Compenso scapolo-toracico (%)</i>	12,6%	9,7%	9,7%	9,9%
<i>Contributo % gleno-omeroale</i>	87,4%	9,7%	90,3%	9,9%
Rotazione esterna (+) / interna (-)	18,24	6,20	18,38	6,44
ROM gleno-omeroale (Omero – Scapola)	41,49	6,61	41,67	6,41
<i>Compenso scapolo-toracico (%)</i>	30,6%	10,6%	30,6%	10,7%
<i>Contributo % gleno-omeroale</i>	69,4%	10,6%	69,4%	10,7%
Tilt posteriore (+) / anteriore (-)	7,12	6,29	7,27	7,73
ROM gleno-omeroale (Omero – Scapola)	52,61	6,93	52,78	7,71
<i>Compenso scapolo-toracico (%)</i>	12,5%	10,2%	13,9%	10,6%
<i>Contributo % gleno-omeroale</i>	87,5%	10,2%	86,1%	10,6%

Ampiezza omerale 90° — n = 21 pazienti				
Protrazione (+) / Retrazione (-)	2,50	10,65	1,54	12,03
ROM gleno-omeroale (Omero – Sca- pola)	83,51	12,56	88,45	12,03
<i>Compenso scapolo-toracico (%)</i>	9,8%	8,0%	8,3%	10,3%
<i>Contributo % gleno-omeroale</i>	90,2%	8,0%	91,7%	10,3%
Rotazione esterna (+) / interna(-)	27,87	6,98	31,22	7,84
ROM gleno-omeroale (Omero – Sca- pola)	58,15	8,68	58,76	7,81
<i>Compenso scapolo-toracico (%)</i>	32,5%	8,7%	34,7%	8,7%
<i>Contributo % gleno-omeroale</i>	67,5%	8,7%	65,3%	8,7%
Tilt posteriore (+) / anteriore (-)	8,61	11,08	7,13	11,86
ROM gleno-omeroale (Omero – Sca- pola)	77,40	9,92	82,85	11,88
<i>Compenso scapolo-toracico (%)</i>	12,4%	9,6%	10,7%	10,8%
<i>Contributo % gleno-omeroale</i>	87,6%	9,6%	89,3%	10,8%

4.3.2 Esercizio 2 — Abduzione-adduzione

Nell'abduzione-adduzione la numerosità decresce all'aumentare dell'angolo (da N = 29 a 30° fino a N = 12 a 90°), riflettendo già di per sé la difficoltà di una parte della coorte nel raggiungere i gradi più elevati di escursione articolare.

Con il progredire del movimento il compenso scapolo-toracico in **protrazione/retra-**
zione tende a ridursi in modo regolare in entrambi i gruppi — dal 15,5% al 4,7% nelle
spalle con ROM buono e dal 12,0% al 6,9% in quelle con ROM limitato — a favore di

un contributo gleno-omeroale via via crescente, particolarmente accentuato in corrispondenza delle ampiezze maggiori.

Il contributo scapolo-toracico di **rotazione esterna/interna** descrive invece un andamento a campana in entrambe le coorti: muove da valori già importanti (37,3% nel ROM buono e 31,3% nel ROM limitato), raggiunge il proprio massimo intorno a 60° (38,5% e 36,8%) e torna quindi a decrescere una volta a 90° (32,6% e 34,5%). Come già osservato nell'Esercizio 1, la rotazione esterna/interna si conferma il piano in cui il compenso scapolo-toracico è più rilevante, attestandosi su percentuali notevoli.

Anche il **tilt anteriore/posteriore** segue una tendenza discendente al crescere dell'ampiezza dell'abduzione, con il valore massimo registrato a 30° (19,9% nel ROM buono e 18,8% nel ROM limitato). Merita di essere sottolineato come in entrambi i gruppi sia presente una riduzione marcata della quota scapolo-toracica, ma collocata in momenti diversi dell'arco di movimento: nel gruppo con ROM buono essa avviene intorno ai 60° (dal 19,9% al 14,6% con un - 5,3%), mentre in quello con ROM limitato si manifesta soltanto a 90° (dal 18,0% al 14,8% con un - 3,2%).

Tabella 3. Esercizio 2 — Abduzione-adduzione: contributo scapolo-toracico e gleno-omeroale ai diversi livelli di ampiezza omerale (30°, 60° e 90°), suddiviso per gruppo di ROM postoperatorio.

Variabile	ROM buono (n = 20)		ROM limitato (n = 13)	
	Media	SD	Media	SD
Ampiezza omerale 30° — n = 29 pazienti				
Protrazione (+) / Retrazione (-)	-3,66	4,40	-1,73	4,41
ROM gleno-omeroale (Omero – Scapola)	33,55	4,26	31,74	4,41
Compenso scapolo-toracico (%)	15,5%	11,3%	12,0%	9,7%
<i>Contributo % gleno-omeroale</i>	84,5%	11,3%	88,0%	9,7%
Rotazione esterna (+) / interna (-)	11,12	5,84	9,41	5,40
ROM gleno-omeroale (Omero – Scapola)	18,77	6,02	20,61	5,40

Variabile	ROM buono (n = 20)		ROM limitato (n = 13)	
	Media	SD	Media	SD
<i>Compenso scapolo-toracico (%)</i>	37,3%	19,8%	31,3%	18,0%
<i>Contributo % gleno-omeroale</i>	62,7%	19,8%	68,7%	18,0%
Tilt posteriore (+) / anteriore (-)	5,13	5,20	5,08	5,21
ROM gleno-omeroale (Omero – Sca- pola)	24,77	5,28	24,93	5,22
<i>Compenso scapolo-toracico (%)</i>	19,9%	14,0%	18,8%	15,1%
<i>Contributo % gleno-omeroale</i>	80,1%	14,0%	81,2%	15,1%
Ampiezza omerale 60° — n = 23 pazienti				
Protrazione (+) / Retrazione (-)	-1,51	8,44	-2,74	5,91
ROM gleno-omeroale (Omero – Sca- pola)	60,52	9,92	62,72	5,92
<i>Compenso scapolo-toracico (%)</i>	11,0%	10,0%	7,7%	7,4%
<i>Contributo % gleno-omeroale</i>	89,0%	10,0%	92,3%	7,4%
Rotazione esterna (+) / interna (-)	22,53	6,33	22,10	6,81
ROM gleno-omeroale (Omero – Sca- pola)	36,48	7,90	37,88	6,80
<i>Compenso scapolo-toracico (%)</i>	38,5%	12,0%	36,8%	11,3%
<i>Contributo % gleno-omeroale</i>	61,5%	12,0%	63,2%	11,3%
Tilt posteriore (+) / anteriore (-)	7,71	8,46	9,61	10,77
ROM gleno-omeroale (Omero – Sca- pola)	51,30	7,45	50,38	10,77
<i>Compenso scapolo-toracico (%)</i>	14,6%	12,3%	18,0%	15,7%
<i>Contributo % gleno-omeroale</i>	85,4%	12,3%	82,0%	15,7%

Variabile	ROM buono (n = 20)		ROM limitato (n = 13)	
	Media	SD	Media	SD
Ampiezza omerale 90° — n = 12 pazienti				
Protrazione (+) / Retrazione (-)	0,36	4,81	-2,34	7,95
ROM gleno-omeroale (Omero – Sca- pola)	86,23	1,76	92,33	7,94
<i>Compenso scapolo-toracico (%)</i>	4,7%	0,8%	6,9%	5,7%
<i>Contributo % gleno-omeroale</i>	95,3%	0,8%	93,1%	5,7%
Rotazione esterna(+) / interna (-)	28,05	5,08	31,07	5,74
ROM gleno-omeroale (Omero – Sca- pola)	58,54	9,01	58,93	5,74
<i>Compenso scapolo-toracico (%)</i>	32,6%	7,3%	34,5%	6,4%
<i>Contributo % gleno-omeroale</i>	67,4%	7,3%	65,5%	6,4%
Tilt posteriore (+) / anteriore (-)	11,09	10,03	9,99	13,01
ROM gleno-omeroale (Omero – Sca- pola)	75,50	13,59	80,01	13,03
<i>Compenso scapolo-toracico (%)</i>	14,5%	9,7%	14,8%	10,0%
<i>Contributo % gleno-omeroale</i>	85,5%	9,7%	85,2%	10,0%

4.3.3 Esercizio 3 — Extrarotazione

L'extrarotazione costituisce il gesto più critico sul piano dei dati disponibili: la misurazione risulta utilizzabile soltanto in corrispondenza dell'angolo di 30° e su una numerosità assai ridotta (N = 4), circostanza che impone di interpretare ogni osservazione con la massima cautela.

Pur entro questi limiti, si evidenziano differenze di notevole entità tra i due gruppi nel compenso scapolo-toracico lungo i tre piani considerati. In **protrazione/retrazione** la quota scapolo-toracica raggiunge nel gruppo con ROM limitato un valore particolarmente elevato (34,7%), nettamente superiore a quello osservato nelle spalle con ROM buono (19,8%). Un divario analogo si ritrova nella **rotazione esterna/interna**, dove il contributo scapolare nel gruppo con ROM limitato è addirittura doppio rispetto a quello del gruppo con buon ROM (24,0% contro 11,5%), seppure su valori assoluti complessivamente inferiori. Nel **tilt anteriore/posteriore**, al contrario, i due gruppi tendono a sovrapporsi, con quote pressoché coincidenti (7,0% nel ROM buono e 6,0% nel ROM limitato).

Tabella 4. Esercizio 3 — Extrarotazione a 0°: contributo scapolo-toracico e gleno-omerale ai diversi livelli di ampiezza omerale (30°), suddiviso per gruppo di ROM postoperatorio.

Variabile	ROM buono (n = 20)		ROM limitato (n = 13)	
	Media	SD	Media	SD
Ampiezza omerale 30° — n = 4 pazienti				
Protrazione (+) / Retrazione (-)	-4,35	0,92	-8,77	2,61
ROM gleno-omerale (Omero – Scapola)	26,90	2,43	35,17	2,25
Compenso scapolo-toracico (%)	19,8%	7,0%	34,7%	16,3%
<i>Contributo % gleno-omerale</i>	80,2%	7,0%	65,3%	16,3%
Rotazione esterna (+) / interna (-)	2,68	1,55	6,17	0,60
ROM gleno-omerale (Omero – Scapola)	19,88	1,81	20,23	5,46
Compenso scapolo-toracico (%)	11,5%	5,2%	24,0%	6,7%

Variabile	ROM buono (n = 20)		ROM limitato (n = 13)	
	Media	SD	Media	SD
<i>Contributo % gleno-omeroale</i>	88,5%	5,2%	76,0%	6,7%
Tilt posteriore (+) / anteriore (-)	-1,61	0,60	-1,72	1,82
ROM gleno-omeroale (Omero – Sca- pola)	24,17	3,95	28,12	6,68
<i>Compenso scapolo-toracico (%)</i>	7,0%	1,6%	6,0%	5,8%
<i>Contributo % gleno-omeroale</i>	93,0%	1,6%	94,0%	5,8%

4.3.4 Esercizio 4 — Intrarotazione

Nell'intrarotazione i dati sono disponibili a 30° (N = 21) e a 60° (N = 14), nonostante qualche criticità nell'esecuzione del movimento.

Per quanto riguarda il compenso in **protrazione/retrazione**, i due gruppi partono da valori pressoché identici a 30° (13,5% nel ROM buono e 13,6% nel ROM limitato) ma divergono nettamente con l'aumentare dell'ampiezza: nel gruppo con ROM buono la quota scapolo-toracica si mantiene sostanzialmente stabile, scendendo di appena 2 punti percentuali (dal 13,5% all'11,5%), mentre in quello con ROM limitato si osserva una riduzione brusca a 60° (dal 13,6% al 5,3%, pari a 8,3 punti percentuali).

Un comportamento analogo si ripropone nel **tilt anteriore/posteriore**: anche in questo piano il gruppo con ROM limitato mostra una caduta marcata della quota scapolo-toracica, che passa dal 36,4% a 30° al 15,6% a 60° (-20,8 punti percentuali), a fronte di una flessione assai più contenuta nel gruppo con ROM buono (dal 22,3% al 16,6%, circa 5,7 punti). È inoltre da rilevare come a 30° il compenso in tilt sia decisamente maggiore nelle spalle con ROM limitato (36,4% contro 22,3%), per poi convergere su valori sovrapponibili a 60°.

Nella **rotazione esterna/interna**, infine, non si evidenziano differenze rilevanti tra i due gruppi, che a 30° presentano valori quasi coincidenti (36,6% nel ROM buono e 36,4% nel ROM limitato) e tendono a riavvicinarsi anche a 60° (28,4% e 33,3%).

Tabella 5. Esercizio 4 — Intrarotazione a 90°: contributo scapolo-toracico e gleno-omeroale ai diversi livelli di ampiezza omerale (30° e 60°), suddiviso per gruppo di ROM postoperatorio.

Variabile	ROM buono (n = 20)		ROM limitato (n = 13)	
	Media	SD	Media	SD
Ampiezza omerale 30° — n = 21 pazienti				
Protrazione (+) / Retrazione (-)	-0,03	5,29	1,92	5,62
ROM gleno-omeroale (Omero – Sca-pola)	29,43	5,71	27,48	5,12
<i>Compenso scapolo-toracico (%)</i>	13,5%	10,7%	13,6%	13,7%
<i>Contributo % gleno-omeroale</i>	86,5%	10,7%	86,4%	13,7%
Rotazione esterna (+) / interna (-)	10,43	5,66	10,72	8,07
ROM gleno-omeroale (Omero – Sca-pola)	18,97	6,99	18,69	8,03
<i>Compenso scapolo-toracico (%)</i>	36,6%	23,1%	36,4%	26,7%
<i>Contributo % gleno-omeroale</i>	63,4%	23,1%	63,6%	26,7%
Tilt posteriore (+) / anteriore (-)	4,90	5,75	10,61	7,92
ROM gleno-omeroale (Omero – Sca-pola)	24,50	7,29	18,79	8,32
<i>Compenso scapolo-toracico (%)</i>	22,3%	18,6%	36,4%	26,9%
<i>Contributo % gleno-omeroale</i>	77,7%	18,6%	63,6%	26,9%

Ampiezza omerale 60° — n = 14 pazienti				
Protrazione (+) / Retrazione (-)	-2,34	7,72	-2,61	3,16
ROM gleno-omeroale (Omero – Sca- pola)	57,94	7,70	60,88	5,39
<i>Compenso scapolo-toracico (%)</i>	11,5%	9,2%	5,3%	4,0%
<i>Contributo % gleno-omeroale</i>	88,5%	9,2%	94,7%	4,0%
Rotazione esterna (+) / interna (-)	15,82	3,28	19,48	10,57
ROM gleno-omeroale (Omero – Sca- pola)	39,77	3,55	38,79	10,26
<i>Compenso scapolo-toracico (%)</i>	28,4%	5,3%	33,3%	17,3%
<i>Contributo % gleno-omeroale</i>	71,6%	5,3%	66,7%	17,3%
Tilt posteriore (+) / anteriore (-)	8,91	7,15	8,78	8,22
ROM gleno-omeroale (Omero – Sca- pola)	46,69	9,05	49,49	11,01
<i>Compenso scapolo-toracico (%)</i>	16,6%	12,8%	15,6%	15,2%
<i>Contributo % gleno-omeroale</i>	83,4%	12,8%	84,4%	15,2%

4.4 Influenza delle variabili cliniche e demografiche

Il terzo livello di analisi ha valutato l'effetto di cinque variabili — età, sesso, soddisfazione complessiva, epoca di inizio e numero di sedute di riabilitazione — sugli esiti cinematici scapolari, distinguendo l'effetto all'interno del gruppo con ROM buono e l'effetto all'interno del gruppo con ROM limitato. La Tabella 6 raccoglie le associazioni significative.

Tabella 6 — Associazioni significative tra variabili ed esiti cinematici scapolari.

Eserc.	Piano	An- golo	Variabile	Ambito dell'effetto	Stima (MD)	IC 95%	p
Es. 1	Elev./Depr.	60°	Età	ROM buono	-0,402	[-0,728; - 0,076]	0,024
Es. 1	Elev./Depr.	60°	Età	ROM limitato	-0,456	[-0,821; - 0,092]	0,022
Es. 1	Elev./Depr.	90°	Età	ROM buono	-0,713	[-1,235; - 0,191]	0,016
Es. 1	Elev./Depr.	90°	Età	ROM limitato	-0,449	[-0,864; - 0,035]	0,049
Es. 2	Protr./Retr.	30°	Soddisfazione	ROM limitato	-2,831	[-5,145; - 0,516]	0,024
Es. 2	Protr./Retr.	30°	Soddisfazione	Interazione gruppo×variabile	-3,305	[-5,740; - 0,870]	0,013
Es. 2	Protr./Retr.	90°	Soddisfazione	ROM limitato	-6,378	[-10,868; - 1,887]	0,024
Es. 2	Elev./Depr.	30°	Età	ROM limitato	-0,442	[-0,785; - 0,099]	0,018
Es. 2	Elev./Depr.	60°	Età	ROM limitato	-0,534	[-0,911; - 0,158]	0,012

Es. 2	Tilt	90°	Soddisfazione	ROM limitato	+11,712	[4,749; 18,674]	0,011
Es. 4	Protr./Retr.	30°	Soddisfazione	ROM limitato	-5,699	[-10,798; -0,600]	0,043
Es. 4	Protr./Retr.	30°	Soddisfazione	Interazione gruppo×variabile	-6,263	[-11,446; -1,079]	0,030
Es. 4	Protr./Retr.	60°	Età	ROM buono	-0,790	[-1,428; -0,152]	0,036
Es. 4	Elev./Depr.	30°	Età	ROM limitato	-1,123	[-1,837; -0,409]	0,007
Es. 4	Elev./Depr.	60°	Nr.sedute	ROM limitato	-0,537	[-0,807; -0,267]	0,003
Es. 4	Elev./Depr.	60°	Nr.sedute	Interazione gruppo×variabile	-0,509	[-0,851; -0,168]	0,015
Es. 4	Tilt	30°	Soddisfazione	ROM limitato	-6,781	[-12,479; -1,083]	0,032
Es. 4	Tilt	30°	Soddisfazione	Interazione gruppo×variabile	-7,816	[-13,609; -2,024]	0,017
Es. 4	Tilt	60°	Nr.sedute	ROM limitato	+0,472	[0,062; 0,882]	0,048
Es. 4	Tilt	60°	Nr.sedute	Interazione gruppo×variabile	+0,684	[0,165; 1,203]	0,027

Tabella 6. MD = stima dell'effetto (coefficiente del modello); IC 95% = intervallo di confidenza; "Interazione gruppo×variabile" indica una differenza dell'effetto della variabile tra i due gruppi. Piani: x = protrazione/retrazione, y = rotazione esterna/interna, z = tilt anteriore/posteriore.

Tra i pattern emersi il più consistente riguarda l'**età**: in più esercizi e in entrambi i gruppi essa si associa in maniera negativa alla rotazione scapolare esterna, nella flessione-estensione a 60° e 90°, nell'abduzione a 30° e 60° e nell'intrarotazione a 30°.

La **soddisfazione** mostra alcune associazioni significative, prevalentemente nel gruppo con ROM limitato e in alcune interazioni a carico della protrazione/retrazione e del tilt anteriore/posteriore nell'abduzione e nell'intrarotazione. Il **numero di sedute** fisioterapiche si associa ad alcuni esiti nell'intrarotazione (piani up/down e tilt a 60°). Il **sex**, infine, non dà luogo ad alcuna associazione significativa, almeno in apparenza.

4.5 Sintesi dei risultati

I tre livelli di analisi convergono in un quadro coerente, sintetizzabile nei punti seguenti:

- l'analisi globale delle curve evidenzia differenze altamente significative ($p < 0,001$) tra ROM buono e ROM limitato in tutti i piani scapolari e in tutti gli esercizi: il comportamento scapolo-toracico, considerato nella sua traiettoria complessiva, discrimina nettamente i due gruppi;
- il confronto statistico tra i due gruppi di ROM, condotto per ciascun esercizio alle ampiezze omerali crescenti di 30°, 60° e 90° ha confermato tali differenze e messo in mostra modelli significativi in cui si nota un notevole coinvolgimento della componente scapolo-toracica;
- tra le variabili l'età mostra l'associazione più robusta e coerente, legandosi a una minore rotazione scapolare verso l'alto; soddisfazione e numero di sedute forniscono indicazioni puntuali a valenza puramente descrittiva, mentre il sesso non risulta associato agli esiti cinematici.

Nel loro insieme questi dati indicano che la qualità del recupero articolare dopo nRTSA si accompagna a un pattern scapolo-toracico globalmente distinto più che a differenze isolate in singoli punti del movimento.

5. DISCUSSIONE

Questo lavoro di ricerca ha indagato, mediante il sistema a sensori inerziali Showmotion™, il comportamento dell'articolazione scapolo-toracica in una coorte di 33 pazienti sottoposti ad artroplastica totale inversa di spalla con tecnica navigata (nRTSA) con l'obiettivo di verificare e quantificare l'entità del compenso scapolo-toracico e di confrontare il comportamento dei soggetti con diverso esito di escursione articolare post-operatoria. Come già riportato nel capitolo dello scopo dello studio, il ruolo dell'articolazione scapolo-toracica nei pazienti sottoposti a RTSA e il contributo dei meccanismi compensatori da essa sviluppati rappresentano un ambito di ricerca relativamente recente. Per lungo tempo, infatti, la cinematica scapolare è stata considerata marginale nello studio delle patologie della spalla, mentre solo negli ultimi anni ne è stata riconosciuta la rilevanza nel determinare il recupero funzionale dopo intervento protesico. Il principale riferimento biomeccanico per lo studio del movimento della spalla rimane sempre il ritmo scapolo-omerale (Codman⁴ e Inman⁵), definito nel soggetto sano come un rapporto medio di 2:1 tra movimento gleno-omerale e scapolo-toracico durante l'elevazione dell'arto superiore⁶.

5.1 Valutazione complessiva delle curve e analisi associate

Uno dei dati più rappresentativi su cui discutere è la presenza di profili di movimento scapolare profondamente diversi quando il gesto viene osservato nella sua interezza, mentre tali differenze vanno a perdersi se il confronto è eseguito su singoli istanti isolati.

Lo spostamento del principale lavoro motorio dall'articolazione gleno-omerale a quella scapolo-toracica rappresenta un fenomeno fisiologicamente atteso e ben caratterizzato nelle spalle sottoposte a RTSA: questo tipo di impianto inverte e medializza il centro di rotazione dell'articolazione, rendendo il deltoide il principale motore dell'elevazione e riducendo il ritmo scapolo-omerale rispetto al rapporto fisiologico di 2:1^{4,5}. Il lavoro di Shekhbihi e collaboratori sintetizza efficacemente quanto appena detto, ricordando come la spalla operata presenti un profilo cinematico distinto dalla sua versione fisiologica, con maggiore dipendenza dal movimento scapolo-toracico ai fini dell'elevazione e con un incremento dinamico di tale contributo nel periodo post-operatorio⁷. Dimostrare l'esistenza di un compenso scapolare non costituisce di per sé una novità, pur essendo la letteratura a riguardo ancora relativamente giovane.

Il quesito indagato dal presente studio non è dunque *se* il compenso esista ma piuttosto *quanto* e *come* esso si differenzi tra pazienti con diversa qualità di recupero. Ciò risulta possibile mediante l'analisi globale delle curve e il confronto statistico tra i due gruppi di ROM (buono e limitato).

5.1.1 Un pattern globale che discrimina i due gruppi

L'analisi globale delle curve ha mostrato una differenza altamente significativa tra i due gruppi in tutte e dodici le combinazioni di esercizio e piano scapolare ($p < 0,001$). Si tratta di un risultato netto e omogeneo: il comportamento del cingolo scapolare, considerato nell'interezza del movimento descritto, discrimina in modo robusto chi giunge con un buon ROM da chi presenta una sua limitazione, facendolo attraverso tutti i piani (protrazione/retrazione, rotazione esterna/interna e tilt anteriore/posteriore) e su tutti i gesti esaminati.

Questo dato si inserisce in maniera coerente dal punto di vista biomeccanico nel quadro consolidato della spalla protesizzata. Numerosi studi hanno documentato, con metodiche diverse, la riduzione del ritmo scapolo-omeroale dopo RTSA: Walker e collaboratori hanno misurato un rapporto medio di 1,3:1 nelle spalle operate contro il 2:1 delle spalle sane, con un contributo scapolo-toracico proporzionalmente maggiore¹³; la meta-analisi di Gonzalez e collaboratori ha confermato una riduzione significativa del ritmo scapolo-omeroale¹⁴; la revisione sistematica di Johnson⁶, insieme ai lavori di Sulkar¹⁵ e soprattutto Manceron¹⁶, ha confermato e riaffermato il nuovo assetto del rapporto fra le due articolazioni, a favore della scapolo-toracica.

Da segnalare inoltre come sia stata notata un'alterazione del ritmo anche nell'arto controlaterale, motivo per cui si è propensi a pensare che la discinesia fosse presente anche da prima dell'intervento chirurgico. Il presente studio non mostra solo che la scapolo-toracica lavora maggiormente dopo l'intervento, ma anche e soprattutto che il modo con cui essa accompagna l'omero differisce in maniera sistematica tra chi recupera *bene* e chi recupera *male*: ciò è confermato in prima battuta dalla suddivisione in base al ROM misurato e successivamente dalle evidenze statistiche e grafiche derivate dalle curve di analisi cinematica della spalla operata. Il compenso scapolo-toracico non è soltanto quantitativamente aumentato ma è anche qualitativamente diverso nei due gruppi.

5.1.2 Lettura dei singoli esercizi e confronto con il pattern fisiologico

Il confronto tra le curve cinematiche descritte durante le valutazioni cliniche funzionali dagli arti operati e il pattern fisiologico della spalla sana offre interessanti spunti di discussione, anche in relazione a ciò che si può trovare in letteratura. Ludewig e collaboratori, analizzando il complesso della spalla in soggetti sani durante l'elevazione multiplanare del braccio, hanno descritto come la scapola fisiologica compia una rotazione interna, una rotazione superiore e un tilt posteriore progressivo e armonico¹⁷. Questo dato può giustificare la scelta del presente studio di analizzare separatamente i diversi movimenti piuttosto che valutare il comportamento scapolare unico. Andando nello specifico, il pattern fisiologico sembra essere quello che il gruppo con buon ROM riproduce in modo progressivo e sovrapponibile, almeno da quanto emerge dall'analisi delle curve. Il gruppo con ROM limitato si sovrappone in maniera limitata, raggiungendo solo parzialmente l'escursione ordinaria e prevalentemente nelle porzioni centrali dei movimenti, divergendo invece in maniera evidente agli estremi, con un'escursione complessiva quasi sempre inferiore. La discordanza riscontrata nelle fasi finali è stata descritta da Linderman e collaboratori nel 2022, i quali hanno osservato che nella metà dei soggetti analizzati la forma della curva si modifica con variazioni più accentuate nell'intervallo 90–120° di elevazione, quindi agli angoli estremi del movimento⁸: anche in questo lavoro l'informazione clinicamente rilevante consiste nella morfologia della traiettoria piuttosto che nel singolo valore.

Da quanto appena detto è possibile affermare che un buon esito articolare si accompagna a una cinematica scapolare più vicina a quella fisiologica.

Un riscontro particolarmente significativo è presente, a ulteriore sostegno di ciò, nello studio di Reina e collaboratori¹⁸, condotto con il medesimo sistema Showmotion™. Si tratta di uno studio condotto su una coorte numericamente limitata, composta da soli 14 pazienti, che ha previsto il confronto dei risultati ottenuti nei soggetti sottoposti a intervento chirurgico con un gruppo di controllo costituito da individui sani. Nonostante questi limiti si evidenzia come, nel lato operato, i pazienti anticipano la rotazione esterna della scapola sia in flessione sia in abduzione: il contributo della scapola con questo tipo di escursione in seguito a RTSA al movimento di elevazione risulta più marcato. In aggiunta, per favorire l'elevazione del braccio, si osservano un'anticipazione della retrazione scapolare e un'inclinazione più pronunciata, elementi che presi insieme profilano un pattern cinematico scapolare differente rispetto alla norma. In questa prospettiva, proprio come

suggerito dal nostro studio, l'analisi del movimento scapolare potrebbe rappresentare uno strumento utile nel follow up post-operatorio dei pazienti sottoposti a RTSA, contribuendo anche al miglioramento dei protocolli fisioterapici.

5.2 Confronto delle coorti con diverso ROM e schemi riscontrati

Per il secondo filone di analisi di questo studio ci si è posti l'obiettivo di descrivere come si muove la scapola nei pazienti a recupero limitato, di verificare se esista un comportamento ricorrente e di confrontarlo con quello dei pazienti a recupero favorevole. La lettura per ampiezze (30°, 60°, 90°) consente di seguire non solo *quanto* compensa la scapola, ma *dove*, lungo l'arco, e *in quale piano* lo fa.

5.2.1 Pattern condivisi dai due gruppi

1. La gerarchia dei piani di compenso è identica. In entrambi i gruppi e in tutti e quattro gli esercizi, il compenso scapolo-toracico è massimo nella rotazione esterna/interna (up/down), intermedio nel tilt e minimo nella protrazione/retrazione. La scapola compensa essenzialmente ruotando verso l'esterno (upward rotation), indipendentemente dalla qualità del recupero.

2. Il ritmo scapolo-omerale è preservato nella sua logica. In entrambi i gruppi la rotazione scapolare esterna cresce progressivamente con l'elevazione (in flessione da ~8° a 30° fino a ~28–31° a 90°; in abduzione da ~10–11° fino a ~28–31°), mentre la componente gleno-omerale resta la quota maggioritaria in ogni piano e a ogni grado (mai sotto il ~61–65%).

3. La protrazione/retrazione è il piano "silente" in entrambi. Qui il compenso è sempre modesto (<16%) e decresce con l'elevazione in tutti e due i gruppi (flessione: buono 15,4→9,8%, limitato 13,0→8,3%; abduzione: buono 15,5→4,7%, limitato 12,0→6,9%), mentre la scapola resta vicina alla neutralità o tende lievemente alla retrazione (valori negativi in abduzione). È un comportamento comune e fisiologicamente atteso proprio per l'entità del movimento stesso, non marcatamente partecipante alla cinematica dei quattro esercizi svolti per sua natura intrinseca.

4. Ai gradi bassi e intermedi le due coorti sono quasi sovrapponibili. Nel piano di rotazione, a 30° e 60° i valori scapolari assoluti sono praticamente identici (flessione 30°: 8,26° vs 8,27°; 60°: 18,24° vs 18,38°; intrarotazione 30°: 10,43° vs 10,72°). Le differenze tra gruppi non sono presenti all'inizio del movimento, ma compaiono nelle fasi terminali: si tratta di una caratteristica ben visibile anche dai grafici del Capitolo 4.2, nelle quali si

nota come spesso le due curve cinematiche di ROM buon e ROM limitato tendano a divergere proprio a grandi ampiezze ($> 60^\circ$).

5.2.2 Differenze ricorrenti del gruppo a ROM limitato

1. Maggior reclutamento scapolare alle ampiezze elevate (rotazione esterna). È la differenza più costante e coerente: quando l'arco si avvicina al massimo, il gruppo con ROM limitato ruota la scapola esternamente di circa 3° in più rispetto al gruppo con ROM buono: flessione 90° $31,22^\circ$ vs $27,87^\circ$; abduzione 90° $31,07^\circ$ vs $28,05^\circ$; intrarotazione 60° $19,48^\circ$ vs $15,82^\circ$. È il segno che, là dove la protesi è più sollecitata, la scapola interviene di più per portare a termine il gesto, qualora le strutture muscolari lo consentano.

2. Tilt "anticipato" alle ampiezze basse. Specularmente, il gruppo con ROM limitato carica il compenso in tilt all'inizio del movimento laddove il gruppo con ROM buono lo usa meno: flessione 30° $18,9\%$ vs $13,6\%$; intrarotazione 30° $36,4\%$ vs $22,3\%$ (in gradi: $10,61^\circ$ vs $4,90^\circ$, più del doppio). Questo eccesso di basculamento iniziale tende ad esaurirsi entro i 60° con la convergenza dei due gruppi: questo dato suggerisce un avvio del gesto meno efficiente, il quale ricorre al tilt compensatorio nei primi gradi.

3. Transizioni più brusche contro una modulazione graduale. Il gruppo con ROM buono calibra il movimento in modo regolare lungo l'arco mentre il gruppo con ROM limitato evidenzia cadute o salti più netti tra un'ampiezza e l'altra (nell'Esercizio 4, la protrazione passa da $13,6\%$ a $5,3\%$ nel ROM limitato, nel ROM buono invece da $13,5\%$ a $11,5\%$; nel ROM limitato il tilt passa da $36,4\%$ a $15,6\%$, nel ROM buono da $22,3\%$ a $16,6\%$). Il compenso del gruppo con ROM limitato è meno fluido: tale affermazione risulta coerente con il fatto che la vera discriminante tra le due coorti emerge sulla forma della curva piuttosto che sui singoli punti.

4. Sovra-compenso più marcato nei gesti rotatori. Nell'extrarotazione, pur con solo 4 casi analizzati, il gruppo con ROM limitato compensa nettamente di più sia in protrazione ($34,7\%$ vs $19,8\%$) sia in rotazione esterna ($24,0\%$ vs $11,5\%$); nell'intrarotazione emerge il tilt anticipato già descritto sopra. I gesti di rotazione sono quelli in cui la dipendenza scapolare del gruppo con ROM limitato si rende più visibile.

Il dato non risulta comunque sufficientemente indicativo: per poter evidenziare eventuali correlazioni statisticamente significative sarebbe necessario ampliare la numerosità campionaria includendo un maggior numero di soggetti.

5.2.3 Conseguenze sul piano muscolare

I tre tipi di sovra-compenso del gruppo limitato corrispondono a deficit muscolari coerenti tra loro: il tilt anteriore eccessivo rimanda a un deficit del trapezio inferiore con iperattività di piccolo pettorale e/o trapezio superiore; l'alterata rotazione esterna rimanda anch'essa a un deficit del trapezio inferiore con iperattività del trapezio superiore; l'eccesso di protrazione/retrazione, evidente nell'extrarotazione, evoca invece un deficit di romboidi e/o sottospinato. Il quadro converge su un generale pattern di insufficienza del trapezio inferiore con dominanza dei muscoli elevatori (trapezio superiore, elevatore della scapola e romboidei) e protrattori (principalmente il piccolo pettorale).

In letteratura esistono diversi lavori incentrati sull'analisi del reclutamento muscolare nei pazienti sottoposti a RTSA, condotti mediante studio elettromiografico. Vandebosch e collaboratori hanno valutato tramite EMG di superficie l'attività di dieci muscoli del cingolo scapolare — i tre capi del trapezio, il dentato anteriore, i tre capi del deltoide, il gran dorsale e i due capi del gran pettorale — in 42 pazienti (50 spalle) a 12 settimane dall'intervento, durante sei esercizi riabilitativi, tre a catena cinetica chiusa e tre a catena aperta in elevazione. Gli autori hanno documentato un reclutamento differente a seconda dello schema motorio adottato: gli esercizi sul piano orizzontale, a gravità ridotta, evocano un'attività modesta nella maggior parte dei muscoli, mentre quelli a catena aperta contro gravità determinano il massimo reclutamento del deltoide e del trapezio superiore. Su questa base si propone una progressione graduale degli esercizi, utile a orientare il percorso riabilitativo post-operatorio¹⁹. Su un piano diverso si colloca lo studio di Li e collaboratori, incentrato sul valore predittivo dell'attività elettromiografica preoperatoria. Gli autori hanno misurato, in 25 pazienti candidati a RTSA, l'attività EMG del deltoide e del trapezio superiore durante tre movimenti — l'elevazione delle spalle, la flessione anteriore e l'abduzione — correlandola in modo prospettico con esiti clinici post-operatori (forza, range di movimento attivo, dolore e punteggi funzionali). È emerso che una maggiore attività preoperatoria del deltoide medio e del trapezio superiore si associa a una maggiore forza dopo l'intervento, mentre l'attività dei singoli capi del deltoide predice il recupero del movimento nei rispettivi piani: la valutazione elettromiografica preoperatoria di questi due muscoli può quindi costituire uno strumento utile a predire l'esito funzionale dopo RTSA²⁰, dato molto utile e di interesse primario anche per il nostro lavoro.

In definitiva, è possibile affermare come esista un pattern comune tra i gruppi presi in esame (stessa gerarchia dei piani, ritmo scapolo-omerale preservato, protesi prevalente, sovrapponibilità ai gradi iniziali) e, su questo sfondo condiviso, emerge un profilo ricorrente proprio del gruppo a ROM limitato: maggior compenso scapolare concentrato agli estremi dell'arco (tilt in apertura, rotazione verso l'alto in chiusura), con transizioni più brusche e una dipendenza scapolare accentuata nei gesti rotatori. La conferma di quanto appena detto arriva poi dall'analisi globale delle curve del Capitolo 4.2 che certifica come tale profilo, letto nella sua interezza, distingua nettamente i due gruppi.

5.3 Considerazioni generali sulle variabili demografiche

5.3.1 ROM, attività quotidiane e sesso dei pazienti

Sulla base di quanto appena detto e, soprattutto, della casistica analizzata, è importante introdurre e imbastire la discussione sulla primaria suddivisione dei pazienti presi in esame in due gruppi, sulla base dei dati relativi al *range of motion* (ROM) misurato a livello dell'articolazione operata:

- **Gruppo con ROM favorevole:** questo gruppo comprendeva 20 soggetti, di cui 13 femmine (65%) e 7 maschi (35%). L'età media era di 75,35 anni ($DS \pm 8,19$), con una mediana di 78,5 anni (range interquartile: 67,8–82,3). Per quanto concerne la lateralità dell'intervento, 7 pazienti (35%) erano stati operati alla spalla sinistra e 13 (65%) alla spalla destra.
- **Gruppo con ROM limitato:** tale gruppo includeva 13 soggetti, di cui 4 femmine (30,77%) e 9 maschi (69,23%). L'età media risultava pari a 71,85 anni ($DS \pm 8,28$), con una mediana di 73 anni (range interquartile: 71–76). In questo gruppo, 3 pazienti (23,08%) erano stati sottoposti a intervento sulla spalla sinistra, mentre 10 (76,92%) sulla spalla destra.

Tabella 7 Caratteristiche demografiche del campione

Variabile	Dettagli	ROM Buono (N=20)	ROM Limitato (N=13)	p-value
SESSO				
	F; n (%)	13 (65%)	4 (30,77%)	0,080
	M; n (%)	7 (35%)	9 (69,23%)	
ETÀ				
	Media (SD)	75,35 (8,19)	71,85 (8,28)	0,244
	Mediana (IQR)	78,5 (67,8 ; 82,3)	73 (71 ; 76)	

Tabella 7 SD = Deviazione Standard; IQR = Intervallo Interquartile; ROM = Range of Motion

Come evidenziato dai risultati presenti nella tabella 7, si può notare come nessuna delle due variabili demografiche risulti statisticamente significativa ($p > 0,05$). Nonostante ciò, è possibile analizzare tali statistiche in un'ottica diversa.

Per quanto riguarda il sesso si vede una tendenza quasi opposta tra i due: circa 2/3 delle femmine presenta un ROM buono contro meno di 1/3 dei maschi.

In letteratura sono stati descritti risultati non univoci. Il lavoro di Wong e collaboratori mostra miglioramenti simili tra uomini e donne in termini di dolore e ampiezza di movimento: i primi hanno però ottenuto punteggi più elevati nella valutazione di funzionalità e componente fisica, evidenziando anche qui come il sesso possa rivelarsi una variabile clinicamente rilevante²¹, bensì con esiti opposti rispetto ai nostri. Stessa conclusione è stata riportata dallo studio del 2019 di Okoroha e collaboratori, lavorando su una coorte ben più ampia (2364 pazienti) ma comprendente anche soggetti operati non solo con RTSA ma anche con TSA²². Ha rilevato che le pazienti di sesso femminile si sottopongono a SA in età più avanzata e presentano inizialmente una minore ampiezza di movimento della spalla e punteggi di esito peggiori rispetto ai pazienti di sesso maschile; eppure, nonostante queste premesse, nella nostra esperienza le donne hanno sperimentato un miglioramento maggiore nel periodo postoperatorio in termini di punteggi di esito e ampiezza di movimento, pur non raggiungendo una differenza clinicamente rilevante. Ben più diretto e specifico è stato il lavoro pubblicato da Takayama e Ito nel 2022: considerando 52 pazienti operati con RTSA, il fattore che ha influenzato di più i valori finali di ROM è stato proprio il sesso, piuttosto che le alterazioni artrosiche della gleno-omeroale

di partenza o il trattamento del tendine sottoscapolare²³. Differenze minime tra i sessi negli esiti di RTSA sono stati messi in mostra da Stanila e collaboratori: entrambi raggiungono risultati simili nel lungo periodo in termini di sollievo dal dolore e funzionalità; complessivamente gli esiti sono comparabili, suggerendo solo fattori specifici di genere di minima entità²⁴.

Dai dati raccolti dal presente studio e confrontati con trattazioni simili è possibile ipotizzare una relazione, oltre che ovviamente con il percorso fisioterapico e gli esercizi proposti, anche con le quotidiane attività o il lavoro praticato dai singoli soggetti.

Una lettura possibile di questa distribuzione chiama in causa il livello di attività quotidiana. Considerata l'età media della coorte (circa 73 anni), è ragionevole ritenere che la maggioranza dei pazienti sia in condizione di pensionamento.

In questo scenario si può ipotizzare che le donne con ROM buono, pur in età pensionabile, siano in media più attive nella vita quotidiana, mentre gli uomini con ROM buono siano più spesso ancora in età lavorativa e impegnati in mansioni mediamente più fisiche: in entrambi i casi, una maggiore sollecitazione dell'arto operato nelle attività di tutti i giorni potrebbe agire da "fisioterapia autosomministrata", aggiuntiva rispetto alle sedute formali. L'ipotesi è coerente con dati riscontrati in letteratura che, da un lato, documentano differenze di esito legate al sesso dopo artroprotesi di spalla²² e, dall'altro, mostrano come la domanda fisica e occupazionale incida sull'uso dell'arto e sul ritorno all'attività, con tassi inferiori nelle mansioni a maggiore intensità^{25,26}. A sostegno della tesi sull'utilizzo attivo dell'arto, programmi a conduzione domiciliare o autogestita si sono dimostrati capaci di produrre guadagni significativi di escursione e funzione^{27,28}. Va tuttavia sottolineato che si tratta di un'ipotesi basata su una speculazione osservativa: il presente studio non ha misurato direttamente il livello di attività quotidiana o lavorativa né prima né dopo la valutazione clinica funzionale e il sesso non è risultato associato in modo significativo agli esiti cinematici. La verifica di un nesso causale reale richiederebbe studi dedicati con una quantificazione oggettiva dell'attività fisica e dei dati riportati: non costituiscono ancora un dato numericamente solido ma piuttosto un buono spunto di partenza sul quale imbastire una discussione sul tema.

5.3.2 L'impatto della fisioterapia

Sebbene la maggioranza dei soggetti abbia rispettato l'indicazione formulata dallo specialista (21 giorni dall'operazione), è stata rilevata la presenza di alcuni casi nei quali la rieducazione motoria è stata intrapresa con ritardo, talvolta anche molto significativo. Come evidenziato nella tabella 8, all'interno del gruppo con ROM buono il 90% dei soggetti ha aderito alle prescrizioni mediche (un paziente a 15 giorni e 17 pazienti a 21 giorni), mentre il restante 10% ha intrapreso il percorso riabilitativo in fase tardiva (un paziente a 30 giorni e un paziente a 45s giorni). Nella coorte con ROM limitato soltanto un paziente ha avviato la riabilitazione con un ritardo considerevole (7,69%), mentre la quasi totalità del campione ha iniziato il percorso a 21 giorni dall'intervento (12 soggetti, pari al 92,31%).

Per quanto concerne il numero complessivo di sedute riabilitative effettuate dai singoli pazienti, il gruppo con ROM buono ha fatto registrare un valore medio pari a 28,3 sedute, con una deviazione standard di 12,35 e una mediana di 27 (IQR compreso tra 20 e 34); nel gruppo con ROM limitato è stato invece rilevato un valore medio di 24,46 sedute, con una deviazione standard di 12,87 e una mediana di 24 (IQR compreso tra 16 e 24).

Tabella 8 Dati relativi alla fisioterapia

Variabile	Dettagli	ROM Buono (N=20)	ROM Limitato (N=13)	p-value
INIZIO FISIOTERAPIA				
	120gg; n (%)	0 (0%)	1 (7,69%)	0,882
	15gg; n (%)	1 (5%)	0 (0%)	
	21gg; n (%)	17 (85%)	12 (92,31%)	
	30gg; n (%)	1 (5%)	0 (0%)	
	45gg; n (%)	1 (5%)	0 (0%)	
NUMERO SEDUTE				
	Media (SD)	28,3 (12,35)	24,46 (12,87)	0,403
	Mediana (IQR)	27 (20; 34)	24 (16; 24)	

Tabella 8. gg = giorni; SD = Deviazione Standard; IQR = Intervallo Interquartile; ROM = Range of Motion

Pur in presenza di differenze nei valori assoluti la Tabella 8 evidenzia come, in termini percentuali, non sussistano scarti significativamente rilevanti tra i due gruppi riguardo l'epoca di avvio del percorso fisioterapico, variabile che non raggiunge la significatività statistica ($p = 0,882$). Anzi, paradossalmente è proprio il gruppo a ROM limitato ad aver rispettato con maggiore puntualità la finestra temporale raccomandata dei ventuno giorni (92,3% contro 85%), nonostante l'esito articolare meno favorevole. Si tratta di un riscontro che, almeno in apparenza, non rafforza molto la correlazione diretta tra precocità di inizio della riabilitazione e recupero del range articolare. Tale osservazione è coerente con le evidenze disponibili in letteratura: nel loro studio randomizzato del 2020, Hagen e collaboratori hanno confrontato una riabilitazione precoce con un'immobilizzazione di sei settimane dopo RTSA, non riscontrando differenze significative tra i due protocolli ma bensì miglioramenti analoghi in entrambi i gruppi²⁹, come evidenziato da noi. In modo analogo la recente revisione sistematica di Thamrongsuksiri e collaboratori su 1763 pazienti ha rilevato che la mobilizzazione precoce si associa a guadagni di entità modesta e comunque non clinicamente importanti, pur risultando un fattore protettivo contro le fratture post-operatorie³⁰.

Globalmente questi dati suggeriscono che, entro gli intervalli temporali consigliati solitamente, l'epoca di avvio della riabilitazione fisioterapica eserciti un'influenza clinicamente limitata sul recupero del ROM, coerentemente con le misurazioni effettuate nel presente studio. Va però considerato che, come possibile limite o confondente, è presente una relativa uniformità tra le tempistiche del nostro campione, concentrata in larga parte alla ventunesima giornata: ciò riduce in partenza la possibilità di evidenziare un eventuale effetto.

Considerazioni analoghe valgono per il numero di sedute di fisioterapia. Si osserva una lieve tendenza verso un numero leggermente maggiore di sedute nel gruppo con ROM buono, un dato apparentemente logico. Tuttavia, l'assenza di significatività e la marcata sovrapposizione dei dati raccolti (minima differenza interindividuale) non consentono di stabilire una correlazione diretta tra il numero totale di sedute di trattamento fisioterapico e l'entità del recupero articolare finale. Tale interpretazione è coerente con la letteratura disponibile. Nel loro studio Schick e collaboratori non hanno riscontrato differenze di escursione articolare né di punteggi funzionali tra un programma di fisioterapia ambulatoriale e un programma domiciliare autogestito, a fronte di un numero nettamente inferiore di sedute reali in quest'ultimo³¹.

Allo stesso modo Mulieri e collaboratori avevano già documentato nel 2010 (valutando però il post-operatorio di artroprotesi anatomica e non RTSA) come un programma domiciliare conducesse a esiti clinici non inferiori rispetto alla fisioterapia formale, con pari grado di soddisfazione³². Si può quindi ritenere con un certo grado di confidenza che il fattore determinante non sia tanto il numero assoluto di sedute di per sé quanto piuttosto l'esecuzione di esercizi mirati alla riabilitazione scapolo-toracica e il grado di partecipazione attiva del paziente, anche attraverso l'impiego quotidiano dell'arto operato (sottocapitolo 5.1), dato in accordo con l'assenza di una relazione evidente tra numero di sedute ed esito di ROM.

5.3.3 Il paradosso (apparente) tra soddisfazione e ROM post-operatorio

Nell'ambito della valutazione clinica è stato inoltre raccolto il grado di soddisfazione soggettiva espresso dai pazienti, mediante una scala numerica da 0 a 10, in relazione sia all'intervento chirurgico in sé sia alla qualità di vita complessiva. Dall'analisi statistica è emerso come, all'interno del gruppo con ROM limitato, il gradimento abbia raggiunto un valore medio pari a 9,15 punti, con una deviazione standard di 0,99 e una mediana di 9 (IQR compreso tra 9 e 10), risultando superiore a quello osservato nella coorte con ROM buono, in cui il valore medio si è attestato a 8,4 punti, con una deviazione standard di 2,46 e una mediana di 9 (IQR compreso tra 8 e 10).

Tabella 9 Dati relativi alla soddisfazione del paziente

Variabile	Dettagli	ROM Buono (N=20)	ROM Limitato (N=13)	p-value
SODDISFAZIONE				
	Media (SD)	8,4 (2,46)	9,15 (0,99)	0,230
	Mediana (IQR)	9 (8; 10)	9 (9; 10)	

Tabella 9. SD = Deviazione Standard; IQR = Intervallo Interquartile; ROM = Range of Motion

Un dato all'apparenza bizzarro e paradossale riguarda proprio la soddisfazione: pur trattandosi di una valutazione del tutto soggettiva e influenzata da numerose variabili individuali e non, i soggetti che esprimono una soddisfazione maggiore sono proprio quelli che alle misurazioni cliniche funzionali presentano un recupero articolare inferiore e quindi un ROM limitato.

Sebbene anche questo dato non raggiunga la significatività statistica è importante da analizzare e argomentare, in quanto trova ampio riscontro nella letteratura sulla RTSA. La soddisfazione dopo questo tipo di intervento appare infatti determinata molto più dal sollievo dal dolore e dal soddisfacimento delle aspettative individuali che non dal valore assoluto del range articolare raggiunto; considerare come unico parametro discriminante proprio i gradi di ROM risulterebbe fuorviante e, appunto, darebbe origine ad una lettura apparentemente controintuitiva. Coerentemente con quanto appena detto, Rauck e collaboratori hanno mostrato che la soddisfazione nel post-operatorio si correla soprattutto con il miglioramento del dolore percepito e dei punteggi funzionali; inoltre, anche qui paradossalmente, i pazienti con una migliore escursione articolare pre-operatoria risultano meno soddisfatti dopo l'intervento³³. Il meccanismo è probabilmente guidato in prima linea dalle aspettative che i pazienti si fanno: in una trattazione collaterale e collegata alla precedente gli stessi autori hanno documentato che i soggetti con migliore funzione pre-operatoria nutrono aspettative più elevate³⁴, uscendo quasi dai confini delle analisi prettamente statistiche. In linea con quanto appena detto anche nel lavoro di Lizzio e collaboratori è stato confermato che aspettative maggiori si associano a una soddisfazione inferiore, oltre che individuare come priorità dei pazienti soprattutto il sollievo dal dolore e l'autonomia nelle attività quotidiane piuttosto che il guadagno di mobilità in sé³⁵.

È pertanto legittimo pensare che, nella casistica da noi riportata e coerentemente con gli studi presenti in letteratura, i soggetti con recupero articolare più limitato partissero da aspettative più contenute, ampiamente soddisfatte (nella quasi totalità dei casi) dal sollievo dal dolore e dal recupero delle funzioni essenziali, riconosciuti ormai come i principali determinanti della soddisfazione a medio/lungo termine dai diretti coinvolti³⁶. I pazienti con ROM risultato migliore invece potrebbero aver maturato ambizioni maggiori, non sempre pienamente soddisfatte. Più che un paradosso in sé il dato riflette la ormai nota dissociazione tra esito oggettivo e percezione soggettiva.

5.4 Fattori protesici e del paziente nella determinazione del movimento

La diversità di esito articolare osservata tra i due gruppi porta naturalmente ad indagare l'origine di tale dato. Un primo gruppo di fattori è sicuramente di natura protesica e chirurgica: il disegno e il planning dell'impianto, l'entità di lateralizzazione e di medializzazione, il posizionamento e l'inclinazione della glenosfera sono tutti elementi dati per associati nell'influenzare l'escursione e la cinematica della spalla operata di RTSA. A favore di ciò, nel presente studio questi fattori risultano relativamente controllati: tutti i pazienti sono stati operati dal medesimo chirurgo, con il medesimo impianto (Equinox® Reverse Shoulder System) e con l'ausilio della navigazione (ExactechGPS®/AdvitaGPS®), elementi che aumentano la possibilità di ripetizione e standardizzazione del posizionamento delle componenti protesiche a partire dalla pianificazione su TC.

La letteratura suggerisce peraltro che, a parità di sistema protesico, modifiche geometriche mirate incidano in misura limitata sul ROM: King e collaboratori nel 2023 hanno confrontato una glenosfera lateralizzata di +4 mm con una standard con il medesimo impianto Equinox®, non riscontrando differenze significative né di range articolare né di punteggi funzionali, osservando solamente una minore incidenza di notching scapolare nel gruppo lateralizzato³⁷.

Come ulteriore conferma, i recenti studi condotti presso l'Università di Modena e Reggio Emilia (Tarallo e collaboratori) hanno quantificato l'effetto della geometria protesica nella RTSA navigata: è stato osservato che i migliori risultati di anteposizione e abduzione si ottengono con una lateralizzazione della glenosfera compresa tra 18 e 22 mm, con riduzione dell'escursione globale al di fuori di tale intervallo³⁸; inoltre, mediante un sensore di carico wireless (VERASENSE) applicato durante l'impianto navigato, è stato mostrato come la distribuzione del carico articolare dipenda dall'entità di lateralizzazione, dall'allungamento dell'impianto e dal grado di abduzione del braccio³⁹.

L'omogeneità protesica e chirurgica della coorte qui analizzata assume così una valida credibilità: dato che le differenze cinematiche tra i due gruppi non possono essere attribuite alla variabilità dell'impianto, del posizionamento o dell'operatore, è ragionevole pensare che esse siano dovute con maggiore probabilità a fattori intrinseci al paziente quali la condizione anatomica e muscolare di partenza, la qualità dei tessuti residui della cuffia dei rotatori e l'aderenza al percorso riabilitativo.

5.5 Una curva di normalità per pazienti protesizzati

I sistemi di analisi cinematica come Showmotion™ valutano lo scostamento del tracciato del paziente da una banda di normalità (area di riferimento verde nei grafici multimediali) costruita, allo stato attuale, sulla popolazione non operata e descritta da studi su soggetti sani come quello di Ludewig¹⁷.

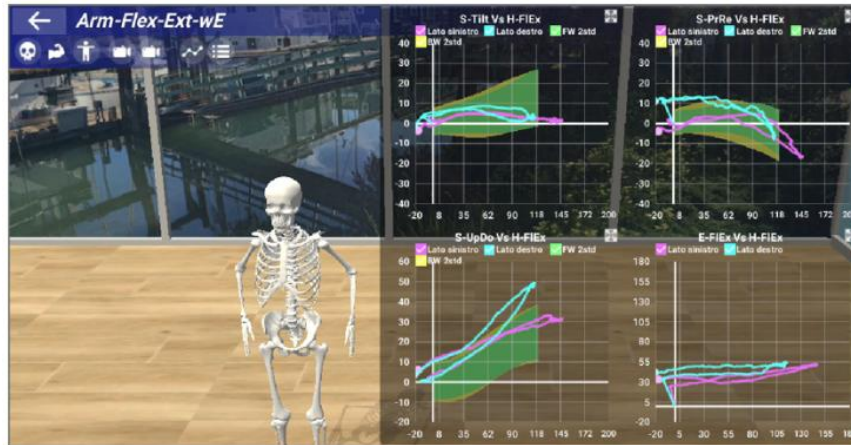


Figura 34. Grafici dell'analisi cinematica Showmotion™; le due curve azzurre e viola rappresentano l'arto superiore destro e sinistro; l'area verde rappresenta il range di normalità di movimento in un soggetto giovane e sano.

Tuttavia, in quanto la RTSA va modificare in modo sostanziale e ormai prevedibile la cinematica del cingolo scapolare (riducendo il ritmo scapolo-omerale e incrementando il contributo scapolo-toracico, tutto documentato in letteratura^{8,13,14}) il confronto di pazienti protesizzati con una coorte di soggetti *sani* rischia di essere fuorviante e per nulla indicativo, segnalando come patologico ciò che costituisce invece il fisiologico adattamento post-chirurgico. I nostri dati, evidenziando in prima battuta l'esistenza di cinematiche scapolari distinte tra ROM buono e ROM limitato, in aggiunta a studi che descrivono pattern di movimenti tipici da raggiungere dopo l'intervento¹⁸ o curve del ritmo scapolo-omerale specifiche del paziente operato⁸, convergono tutti verso un'indicazione precisa: **la necessità di definire una curva di normalità dedicata alla popolazione sottoposta a RTSA, distinta da quella della spalla sana**. Una direzione di riferimento costruita su soggetti operati con buon esito articolare permetterebbe di riconoscere precocemente i pazienti che si discostano dal pattern atteso e offrirebbe un obiettivo cinematico realistico tanto nel pre quanto nel post-operatorio, superando l'intrinseco limite di misurare una spalla protesizzata (e in quanto tale non più *fisiologica*) con il metro della spalla sana e non operata. Una delle direzioni di ricerca più intriganti e promettenti aperte da lavori di questo tipo è rappresentata proprio da questa volontà.

5.6 Limiti dello studio

5.6.1 Possibili implicazioni del lato operato

Analizzando la distribuzione del lato operato all'interno dei due sottogruppi, è emerso che nei pazienti con ROM buono l'intervento ha interessato l'arto sinistro nel 35% dei casi ($n=7$) e l'arto destro nel 65% ($n=13$), mentre nel gruppo con ROM limitato la proporzione è risultata pari al 23,08% per il lato sinistro ($n=3$) e al 76,92% per il lato destro ($n=10$). La casistica include inoltre un paziente sottoposto a intervento bilaterale, del quale ai fini del presente studio è stato considerato esclusivamente l'arto sinistro.

Tabella 10 Distribuzione del lato operato nel campione

Variabile	Dettagli	ROM Buono (N=20)	ROM Limitato (N=13)	p-value
LATO OPERATO				
	S; n (%)	7 (35%)	3 (23,08%)	0,701
	D; n (%)	13 (65%)	10 (76,92%)	

Tabella 10. S = Sinistro; D = Destro; ROM = Range of Motion

La letteratura evidenzia un'associazione significativa tra il recupero di un buon ROM post-operatorio e la dominanza dell'arto sottoposto a intervento. La mancata inclusione di tale variabile rappresenta un limite metodologico del presente studio in quanto la sua analisi avrebbe potuto fornire ulteriori informazioni nella caratterizzazione della casistica e contribuire a una migliore interpretazione dei fattori associati al recupero funzionale.

Collin e collaboratori, analizzando i fattori predittivi del recupero del ROM dopo RTSA, hanno individuato nella chirurgia sull'arto non dominante un fattore correlato a una peggiore flessione anteriore attiva a un anno⁴⁰. In modo parallelo Noble e collaboratori hanno riportato che la chirurgia sull'arto dominante aumenta in misura marcata le probabilità di ottenere un'elevata rotazione interna dopo RTSA insieme alla pianificazione pre-operatoria su TC tridimensionale⁴¹, metodica peraltro impiegata anche nella presente casistica. Poiché nella popolazione generale la dominanza è prevalentemente destra, è plausibile che nel nostro campione il lato operato (in maggioranza destro) coincidesse spesso con l'arto dominante, ossia con quello abitualmente più sollecitato nelle attività quotidiane. Tale osservazione avrebbe rafforzato sul piano teorico l'ipotesi di un effetto dell'uso quotidiano dell'arto sul recupero (capitolo 5.1). Il rilevamento della dominanza dell'arto si prospetta pertanto come una raccomandazione metodologica per studi futuri simili.

5.6.2 Fisiologiche limitazioni di movimento

A questo proposito è corretto richiamare un aspetto tanto rilevante quanto molto spesso trascurato. Dalla lettura dei grafici relativi all'extrarotazione e all'intrarotazione può infatti derivare un bias interpretativo: si è portati a osservare come questi due movimenti presentino un'escursione complessivamente minore rispetto alla flessione e all'abduzione (sottocapitoli 4.2.3, 4.2.4, 4.3.3 e 4.3.4), con il possibile rischio di sottostimarne la significatività statistica. È possibile spiegare in parte questo dato grazie all'entità intrinseca dei movimenti stessi: il grado di ampiezza raggiungibile da un'extrarotazione a 0° non potrà mai eguagliare i valori di una flessione anteriore, persino nelle spalle sane, in ragione anche dell'ostacolo fisico dato dalla presenza del tronco. Considerazioni analoghe valgono per l'intrarotazione a 90°, alle quali si aggiunge tuttavia la natura intrinsecamente complessa del movimento in sé. Questi sono due motivazioni secondo cui, nell'analisi statistica condotta in corrispondenza degli angoli omerali considerati, questi due esercizi faticano a emergere con una forza statistica realmente rilevante.

Nelle fisiologiche limitazioni di movimento si inserisce anche il contributo singolo delle componenti della spalla il quale, se trascurato, rischia di far divergere dati concreti e la loro lettura: è importante sottolineare che la rilevanza della gleno-omeroale aumenta e si presenta maggiormente con il procedere dell'elevazione (nel tilt anteriore/posteriore della flessione-estensione passa da circa l'86% a 30° a circa l'88% a 90°), a indicare come la componente scapolo-toracica, seppur rilevante, contribuisca in misura proporzionalmente minore nelle fasi più alte del movimento.

5.6.3 Ulteriori cautele e prospettive future

Per quanto riguarda altri aspetti limitanti, uno di questi è la progressiva riduzione della numerosità al crescere dell'angolo omerale, possibile punto a rischio di bias: un numero minore di pazienti raggiunge gli angoli più elevati, la potenza statistica del confronto è vulnerabile proprio dove ci si aspetterebbe le maggiori differenze cinematiche. L'ampia variabilità interindividuale⁴² impone cautela nel generalizzare i pattern medi al singolo paziente.

Un ulteriore limite è rappresentato dall'assenza di una valutazione elettromiografica: i sensori inerziali impiegati misurano la cinematica scapolo-toracica, ma non l'attività muscolare. Le attribuzioni ai singoli muscoli restano pertanto ipotesi coerenti con il pattern cinematico osservato, e non misure dirette; la loro conferma richiederà studi che integrino

l'analisi EMG con quella cinematica, così da ottenere risultati ancora più specifici sul percorso riabilitativo post-chirurgico.

Nel complesso, tali limiti non intaccano il reperto principale ma ne delineano con chiarezza le direzioni future: ampliare la casistica, soprattutto agli angoli più elevati e ai gesti di rotazione, integrare l'indagine elettromiografica, prevedere un follow-up longitudinale nel tempo e costruire bande di normalità dedicate alla popolazione protesizzata.

6. CONCLUSIONI

Il presente lavoro si è proposto di verificare e quantificare l'entità del compenso esercitato dall'articolazione scapolo-toracica a seguito di artroprotesi inversa di spalla con tecnica navigata (nRTSA) e di confrontare il comportamento scapolare di pazienti con diverso esito di escursione articolare, allo scopo di fornire allo specialista fisioterapico strumenti operativi più puntuali per la selezione di esercizi mirati e per un recupero rapido ed efficace. A tal fine è stata analizzata, mediante il sistema di tracciamento cinematico tridimensionale a sensori inerziali Showmotion™, la cinematica scapolare di 33 pazienti operati dal medesimo chirurgo, con il medesimo impianto e con l'ausilio della navigazione, lungo quattro gesti standardizzati e sui tre piani di movimento della scapola.

Il dato di maggior rilievo emerso dallo studio è duplice. L'analisi globale delle curve ha mostrato una differenza altamente significativa tra i pazienti con ROM buono e quelli con ROM limitato, in tutte le combinazioni di esercizio e piano esaminate. A sostegno di ciò l'analisi condotta ad ampiezze omerali crescenti di 30°, 60° e 90° ha confermato tali differenze. Analizzate in una visione d'insieme queste evidenze indicano che l'elemento realmente discriminante non è tanto il valore assunto dalla scapola in un istante isolato quanto la forma complessiva della traiettoria percorsa lungo l'intero arco di movimento. Il compenso scapolo-toracico non risulta soltanto quantitativamente aumentato (fenomeno atteso e già noto nella spalla protesizzata) ma anche e soprattutto qualitativamente diverso nei due gruppi: i pazienti con buon ROM riproducono in modo progressivo e armonico il pattern fisiologico della scapola sana, mentre quelli con ROM limitato raggiungono tale schema solo parzialmente, a fronte di un'escursione complessiva inferiore e di una divergenza agli stremi del movimento.

Un secondo ordine di considerazioni riguarda l'origine di tali differenze. Poiché l'impianto, l'operatore e la tecnica di navigazione sono rimasti costanti nell'intera casistica è ragionevole ricondurre le differenze cinematiche osservate a fattori intrinseci al paziente quali la condizione anatomica e muscolare di partenza, la qualità dei tessuti residui e l'aderenza al percorso riabilitativo. A riprova di ciò l'analisi delle variabili cliniche e demografiche non ha evidenziato dati univoci, fatta eccezione per un gradiente legato all'età, associata a una minore rotazione scapolare verso l'alto. Particolarmente interessanti e stimolanti si sono rivelate alcune osservazioni di natura più clinica che statistica. L'assenza di una correlazione diretta tra l'esito articolare e la precocità o il numero delle

sedute fisioterapiche ha indicato come conti più l'appropriatezza degli esercizi e la partecipazione attiva del paziente che non la semplice quantità di trattamento; la dissociazione tra recupero oggettivo e soddisfazione soggettiva, risultata persino lievemente superiore nei pazienti con ROM più limitato, a conferma di come il gradimento finale dipenda soprattutto dal sollievo dal dolore e dal soddisfacimento delle aspettative piuttosto che dal valore assoluto di mobilità raggiunto.

A livello concettuale, il contributo principale di questo lavoro consiste nell'aver messo in evidenza che lo studio e il tratteggio del movimento tridimensionale della scapola è in grado di cogliere differenze sostanziali tra i pazienti che le sole misure di escursione e le scale cliniche non sempre intercettano. Da questa affermazione discende quella che appare la prospettiva più stimolante: la necessità di definire una curva di normalità dedicata alla popolazione protesizzata, distinta da quella della spalla sana. Poiché la RTSA modifica in modo sostanziale e prevedibile la cinematica del cingolo scapolare, confrontare il paziente operato con un riferimento costruito su soggetti sani rischia infatti di segnalare come patologico ciò che costituisce il fisiologico adattamento post-chirurgico. Una banda di riferimento progettata su pazienti operati con buon ROM permetterebbe invece di riconoscere precocemente chi si discosta dal pattern atteso, offrendo un bersaglio cinematico realistico tanto alla valutazione quanto al trattamento.

Sul versante applicativo, i risultati suggeriscono di valutare il compenso scapolare nella sua interezza e non per singoli punti. Inoltre, si prefigura come una prospettiva di grande utilità lo studio dell'escursione articolare e la qualità del movimento scapolo-toracico anche nel pre-intervento. Una valutazione cinematica oggettiva, affiancata da una valutazione preoperatoria, può contribuire a individuare precocemente i pazienti a rischio di un recupero lento o insoddisfacente, indirizzandoli verso un trattamento personalizzato fin dalle prime fasi e prevenendo l'instaurarsi di compensi disfunzionali.

I limiti dello studio indicando le direzioni di sviluppo della nostra indagine:

- il lavoro futuro dovrà muoversi verso l'ampliamento della casistica totale, con particolare riguardo ai gradi più elevati di movimento e ai gesti di extra- e intra-rotazione;
- un follow-up longitudinale, capace di cogliere l'evoluzione temporale della cinematica e di stabilire nessi causali tra pattern scapolare e ROM;
- la correlazione tra parametri elettromiografici e cinematica post-operatoria.

La costruzione di bande di normalità dedicate alla popolazione protesizzata rappresenta, in tale cornice, l'obiettivo più ambizioso e, insieme, la naturale prosecuzione del presente lavoro.

In conclusione, pur nella sua natura preliminare, questo studio conferma come la qualità del recupero dopo nRTSA si accompagna a un pattern scapolo-toracico globalmente distinto, individuando nella cinematica scapolare un campo di indagine promettente per comprendere i meccanismi di compenso, personalizzare la riabilitazione e, in ultima istanza, migliorare gli esiti funzionali dei pazienti.

7. BIBLIOGRAFIA

1. Standring S. *Gray's Anatomy. The Anatomical Basis of Clinical Practice*. Vol 2. 41st ed. Edra S.p.A.; 2019.
2. Kapandji AI. *Anatomia Funzionale*. Vol 1. 6th ed. Monduzzi Editoriale; 2011.
3. Porcellini G, Abdelkhalki N, Campi F, Paladini P. *La Spalla*. Verduci Editore; 2014.
4. Codman EA. *The Shoulder : Rupture of the Supraspinatus Tendon and Other Lesions in or about the Subacromial Bursa*. Thomas Todd; 1934.
5. Inman VT, Saunders JBDM, Abbott LC. Observations of the Function of the Shoulder Joint: *Clinical Orthopaedics and Related Research*. 1996;330:3-12. doi:10.1097/00003086-199609000-00002
6. Johnson MA, Cogsil T, White AE, et al. Impact of reverse total shoulder arthroplasty on scapulohumeral rhythm: a systematic review and meta-analysis. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*. 2026;35(4):1117-1128. doi:10.1016/j.jse.2025.08.010
7. Shekhbihi A, Moroder P, Boileau P, Reichert W, Suda AJ, Scheibel M. The scapulothoracic conundrum in reverse shoulder arthroplasty: where do we stand and what is yet to expand? *EFORT Open Reviews*. 2025;10(9):679-685. doi:10.1530/EOR-2024-0040
8. Linderman SE, Hall JRL, Johnson JE, Caceres AP, Hettrich CM, Anderson DD. Return of Scapulohumeral Rhythm in Patients After Reverse Shoulder Arthroplasty: A Midterm Stereoradiographic Imaging Analysis. *Iowa Orthop J*. 2022;42(1):227-237.
9. Bauer S, Blakeney WG, Wang AW, Ernstbrunner L, Corbaz J, Werthel JD. Challenges for Optimization of Reverse Shoulder Arthroplasty Part II: Subacromial Space, Scapular Posture, Moment Arms and Muscle Tensioning. *JCM*. 2023;12(4):1616. doi:10.3390/jcm12041616
10. Bauer S, Blakeney WG, Wang AW, Ernstbrunner L, Corbaz J, Werthel JD. Correction: Bauer et al. Challenges for Optimization of Reverse Shoulder Arthroplasty Part II: Subacromial Space, Scapular Posture, Moment Arms and Muscle Tensioning. *J. Clin. Med*. 2023, 12, 1616. *JCM*. 2023;12(22):7004. doi:10.3390/jcm12227004
11. Moreschini F, Colasanti GB, Cataldi C, Mannelli L, Mondanelli N, Giannotti S. Pre-Operative CT-Based Planning Integrated With Intra-Operative Navigation in Reverse Shoulder Arthroplasty: Data Acquisition and Analysis Protocol, and Preliminary Results of Navigated Versus Conventional Surgery. *Dose-Response*. 2020;18(4):1559325820970832. doi:10.1177/1559325820970832
12. Andriollo L, Pietramala S, Polizzi A, Niccoli G, Zattoni G, Morea V. Computer-Assisted Navigation in Reverse Shoulder Arthroplasty: Surgical Experience and Clinical Outcomes. *JCM*. 2024;13(9):2512. doi:10.3390/jcm13092512
13. Walker D, Matsuki K, Struk AM, Wright TW, Banks SA. Scapulohumeral rhythm in shoulders with reverse shoulder arthroplasty. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*. 2015;24(7):1129-1134. doi:10.1016/j.jse.2014.11.043

14. Gonzalez FF, Fonseca R, Leporace G, et al. Three-dimensional kinematic evaluation of scapulohumeral rhythm after reverse shoulder arthroplasty: a systematic review and meta-analysis. *JSES Reviews, Reports, and Techniques*. 2022;2(1):8-16. doi:10.1016/j.xrrt.2021.10.009
15. Sulkar HJ, Aliaj K, Tashjian RZ, Chalmers PN, Foreman KB, Henninger HB. Reverse Total Shoulder Arthroplasty Alters Humerothoracic, Scapulothoracic, and Glenohumeral Motion During Weighted Scaption. *Clin Orthop Relat Res*. 2022;480(11):2254-2265. doi:10.1097/CORR.0000000000002321
16. Manceron A, Jawa A, Mantovani M, Werthel JD. Involvement of the scapulothoracic articulation after well-functioning reverse total shoulder arthroplasty. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*. 2025;34(9):2258-2268. doi:10.1016/j.jse.2024.12.018
17. Ludewig PM, Phadke V, Braman JP, Hassett DR, Cieminski CJ, LaPrade RF. Motion of the Shoulder Complex During Multiplanar Humeral Elevation: *The Journal of Bone and Joint Surgery-American Volume*. 2009;91(2):378-389. doi:10.2106/JBJS.G.01483
18. Reina M, Fiumana G, Mantovani M, D'Antonio L, Porcellini G. Scapulohumeral rhythm in shoulders with reverse shoulder arthroplasty measured with a new portable three-dimensional scapular kinematics assessment system. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*. 2023;32(4):729-737. doi:10.1016/j.jse.2022.12.007
19. Vandenbosch D, Van Tongel A, De Wilde L, Cools AM. Electromyographic analysis of selected shoulder muscles during shoulder rehabilitation exercises in patients after reverse total shoulder arthroplasty. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*. 2024;33(10):2252-2263. doi:10.1016/j.jse.2024.03.050
20. Li H, Yoon S hyun, Lee D, Chung H. Relation between preoperative electromyographic activity of the deltoid and upper trapezius muscle and clinical results in patients treated with reverse shoulder arthroplasty. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*. 2020;29(1):195-201. doi:10.1016/j.jse.2019.05.032
21. Wong SE, Pitcher AA, Ding DY, et al. The effect of patient gender on outcomes after reverse total shoulder arthroplasty. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*. 2017;26(11):1889-1896. doi:10.1016/j.jse.2017.07.013
22. Okoroha KR, Muh S, Gabbard M, et al. Early outcomes of shoulder arthroplasty according to sex. *JSES Open Access*. 2019;3(1):43-47. doi:10.1016/j.jses.2018.12.001
23. Takayama K, Ito H. Clinical outcomes and temporal changes in the range of motion following reverse total shoulder arthroplasty. *Journal of Orthopaedic Science*. 2023;28(6):1258-1265. doi:10.1016/j.jos.2022.09.008
24. Stanila T, Howard J, Farooq H, Chen A, Garbis N, Salazar D. The impact of gender on outcomes following anatomic and reverse total shoulder arthroplasty. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*. 2025;34(11):2529-2536. doi:10.1016/j.jse.2025.02.035
25. Steinhaus ME, Gowd AK, Hurwit DJ, Lieber AC, Liu JN. Return to work after shoulder arthroplasty: a systematic review and meta-analysis. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*. 2019;28(5):998-1008. doi:10.1016/j.jse.2018.12.011

26. Lalehzarian SP, Agarwalla A, Liu JN. Return to work following shoulder arthroplasty: A systematic review. *WJO*. 2022;13(9):837-852. doi:10.5312/wjo.v13.i9.837
27. Davis D, COX R, Patel M, Lazarus M, Ramsey M, Namdari S. Successful outcomes achieved via web-based, home program after total shoulder arthroplasty. *ABJS*. 2020;(Online First). doi:10.22038/abjs.2020.42832.2164
28. Howard MC, Trasolini NA, Waterman BR. Optimizing Outcomes After Reverse Total Shoulder Arthroplasty: Rehabilitation, Expected Outcomes, and Maximizing Return to Activities. *Curr Rev Musculoskelet Med*. 2023;16(4):145-153. doi:10.1007/s12178-023-09823-5
29. Hagen MS, Allahabadi S, Zhang AL, Feeley BT, Grace T, Ma CB. A randomized single-blinded trial of early rehabilitation versus immobilization after reverse total shoulder arthroplasty. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*. 2020;29(3):442-450. doi:10.1016/j.jse.2019.10.005
30. Thamrongskulsiri N, Itthipanichpong T, Kongmalai T, Kongmalai P. Early mobilisation versus delayed protocols after reverse total shoulder arthroplasty for nonfracture indications: A systematic review and meta-analysis. *J exp orthop*. 2025;12(4):e70449. doi:10.1002/jeo2.70449
31. Schick S, Elphinstone J, Paul K, et al. Home-based physical therapy results in similar outcomes to formal outpatient physical therapy after reverse total shoulder arthroplasty: a randomized controlled trial. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*. 2023;32(8):1555-1561. doi:10.1016/j.jse.2023.03.023
32. Mulieri PJ, Holcomb JO, Dunning P, et al. Is a formal physical therapy program necessary after total shoulder arthroplasty for osteoarthritis? *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*. 2010;19(4):570-579. doi:10.1016/j.jse.2009.07.012
33. Rauck RC, Ruzbarsky JJ, Swarup I, et al. Predictors of patient satisfaction after reverse shoulder arthroplasty. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*. 2020;29(3):e67-e74. doi:10.1016/j.jse.2019.07.043
34. Rauck RC, Swarup I, Chang B, et al. Preoperative patient expectations of elective reverse shoulder arthroplasty. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*. 2019;28(7):1217-1222. doi:10.1016/j.jse.2018.12.008
35. Lizzio VA, James CL, Pietroski AD, et al. Characterizing preoperative expectations for patients undergoing reverse total shoulder arthroplasty. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*. 2022;31(3):537-544. doi:10.1016/j.jse.2021.08.030
36. Krupp R, Ma CB, Nyland J, Getz C, Srinivasan M. Reverse total shoulder arthroplasty pain and function: new perspectives from a 10-year multicenter study at the 7-year follow-up. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2022;143(7):4049-4063. doi:10.1007/s00402-022-04702-z
37. King JJ, Hones KM, Wright TW, et al. Does isolated glenosphere lateralization affect outcomes in reverse shoulder arthroplasty? *Orthopaedics & Traumatology: Surgery & Research*. 2023;109(4):103401. doi:10.1016/j.otsr.2022.103401

38. Tarallo L, Giorgini A, Micheloni G, Montanari M, Porcellini G, Catani F. Navigation in reverse shoulder arthroplasty: how the lateralization of glenosphere can affect the clinical outcome. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2023;143(9):5649-5656. doi:10.1007/s00402-023-04879-x
39. Tarallo L, Morselli M, Donati D, Mantovani M, Catani F. Use of Verasense sensor in navigated reverse shoulder arthroplasty: a preliminary and preclinical study on 22 patients. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2025;145(1):324. doi:10.1007/s00402-025-05939-0
40. Collin P, Matsukawa T, Denard PJ, Gain S, Lädermann A. Pre-operative factors influence the recovery of range of motion following reverse shoulder arthroplasty. *International Orthopaedics (SICOT).* 2017;41(10):2135-2142. doi:10.1007/s00264-017-3573-4
41. Noble MB, Griffin JW, Sears BW, et al. Preoperative planning and inferior glenosphere overhang increases the odds of achieving high internal rotation after Universal reverse total shoulder arthroplasty. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery.* 2025;34(10):2414-2421. doi:10.1016/j.jse.2025.01.018
42. Zaferiou AM, Knowlton CB, Jang SH, et al. Scapular and humeral elevation coordination patterns used before vs. after Reverse Total Shoulder Arthroplasty. *Journal of Biomechanics.* 2021;125:110550. doi:10.1016/j.jbiomech.2021.110550