



# **Università degli Studi di Genova**

## **Facoltà di Medicina e Chirurgia**

**Master in Riabilitazione dei Disordini Muscolo-Scheletrici**  
**Sede : Campus Universitario di Savona**

*In collaborazione con Master of Science in Manual Therapy*  
*Libera Università di Brussel*



# **IL RUOLO DELLA SCAPOLA : IMPLICAZIONI CLINICHE DELLE DISFUNZIONI DEL MOVIMENTO**

Relatore: Erica Monadi

Tesi di: Elisa Maggi

Anno Accademico 2007/2008

## INDICE

ABSTRACT .....	pag. 4
1. INTRODUZIONE .....	pag. 5
2. METODI .....	pag. 6
3. DISCUSSIONE	
A) ANATOMIA FUNZIONALE DELL'ARTICOLAZIONE SCAPOLO-TORACICA .....	pag. 11
a) Scapola	
b) Articolazione scapolo-toracica	
c) Pattern fisiologico di attivazione muscolare scapolare	
B) CINEMATICA SCAPOLO-TORACICA PATOLOGICA .....	pag. 17
a) Allineamento scapolare alterato	
b) Alterato timing di attivazione muscolare	
C) IMPLICAZIONI CLINICHE DELLE DISFUNZIONI DEL MOVIMENTO .....	pag. 25
a) Impingement sub-acromiale	
b) Instabilità traumatica	
c) Frozen shoulder	

D) STRATEGIE DI VALUTAZIONE E METODOLOGIA RIABILITATIVA INTESA A RIEDUCARE LA STABILITÀ DINAMICA E L'EQUILIBRIO MUSCOLARE .....	pag. 30
a) Valutazione	
b) Trattamento	
4. CONCLUSIONI .....	pag. 35
5. BIBLIOGRAFIA .....	pag. 36

## **ABSTRACT**

*Obiettivi:* lo scopo principale del lavoro presentato è quello di esporre le attuali e più recenti acquisizioni scientifiche sulla fisiologica cinematica scapolare e indagare come e in che forma un'eventuale discinesia scapolare possa predisporre allo sviluppo di patologie di spalla quali impingement, instabilità atraumatica e frozen shoulder.

*Risorse dati:* la ricerca degli articoli utili è stata effettuata attraverso i database "Pedro" e "Pubmed" utilizzando le parole chiave: scapular position, scapular movement, scapular kinematics, scapular dysfunction, scapular dyskinesis, scapula and shoulder pain, scapula rehabilitation. Si è effettuata inoltre una ricerca manuale su un testo specialistico: "Valutazione funzionale e trattamento delle sindromi da disfunzione del movimento" di S.Sharman.

*Metodi di revisione:* sono stati presi in esame gli articoli in lingua inglese con data di pubblicazione compresa tra il 1995 e il 2008. E' stata quindi effettuata una seconda selezione (attraverso la lettura degli abstract) basata sull'inerenza degli articoli all'argomento trattato in questa revisione.

*Risultati:* dalla ricerca effettuata appare evidente come a tutte le patologie di spalla si associ un'alterazione del fisiologico pattern di movimento della scapola. Le evidenze cliniche attuali analizzate non permettono tuttavia di trarre conclusioni definitive sul ruolo della scapola nello sviluppo o mantenimento di sindromi algiche a livello della gleno-omeroale in quanto a una stessa patologia di spalla si possono associare diversi tipi pattern scapolari alterati.

*Conclusioni:* le ripercussioni di tali evidenze nella pratica clinica sono l'impossibilità di applicare prestabiliti protocolli riabilitativi della cinematica scapolare solo sulla base di una diagnosi di patologia specifica di spalla: è necessario un attento esame fisico e un continuo ragionamento clinico sul paziente e sul suo personale pattern scapolare alterato.

## **1. INTRODUZIONE**

La scapola ha un ruolo centrale nel mantenimento della funzionalità e della stabilità della spalla.

Un'alterazione del posizionamento della scapola, la debolezza o l'accorciamento dei muscoli che vi si inseriscono o un alterato controllo motorio di questi durante i movimenti dell'arto superiore può portare a un errato centraggio della testa omerale nella glena della scapola e quindi a una serie di microtraumatismi a livello dei tessuti peri-articolari della gleno-omeroale.

Tutto questo predispone all'insorgenza di dolore e patologie di spalla (es. impingement, instabilità, frozen shouder) (10,12,8,17).

Per questo motivo la valutazione della mobilità scapolare, della funzionalità muscolare e dei pattern di movimento dell'articolazione scapolo toracica deve essere parte integrante nella gestione dei disturbi muscolo-scheletrici dell'arto superiore.

Visti questi presupposti nel seguente elaborato si è cercato di fare chiarezza sul ruolo rivestito dalla scapola nella cinematica dell'arto superiore e di indagare le attuali evidenze che riguardano:

- il pattern di movimento fisiologico della scapola
- il coinvolgimento della scapola nello sviluppo di patologie della spalla
- la validità di strategie di valutazione e riabilitazione delle disfunzioni scapolari

## 2. METODI

- RICERCA

*Database utilizzati:* PEDRO e MEDLINE

*Parole chiave:* scapular position, scapular movement, scapular kinematics, scapular dysfunction, scapula and shoulder pain, scapula rehabilitation.

*Materiale personale:* dispense corso “Kinetic Control – Disfunzioni del movimento dell’arto superiore”, docente Andreotti Dianne, 2006

*Libri:* Shirley A. Sharman “Valutazione funzionale e trattamento delle sindromi da disfunzione del movimento”

- SELEZIONE ARTICOLI

La ricerca sul database PEDRO non ha dato risultati rilevanti ai fini della presente revisione.

Per quanto riguarda invece la ricerca attraverso PUBMED sono stati presi in considerazione gli articoli in lingua inglese con data di pubblicazione compresa tra il 1995 e il 2008.

Nonostante tale restrizione la mole di materiale reperito per ogni parola chiave era ancora elevato.

E’ stata quindi effettuata una seconda selezione (attraverso la lettura degli abstract) basata sull’inerenza degli articoli all’argomento preso in considerazione in questo elaborato.

La ricerca del formato “full text” degli articoli scelti (e la ricerca di studi descrittivi utili alla compilazione della prima parte della tesi) è avvenuta direttamente sulle riviste scientifiche di pubblicazione (grazie al loro formato elettronico disponibile tramite la biblioteca dell’Università di Genova).

Per gli articoli 4,6,7,9 non è stato possibile reperire il formato “full text”.

• **CRITERI DI INCLUSIONE / ESCLUSIONE ARTICOLI**

Sono stati inclusi gli articoli in lingua inglese che trattassero la biomeccanica e la cinesiologia scapolare fisiologica e patologica.

Sono stati esclusi gli articoli non in lingua inglese, quelli precedenti al 1995 e quelli che trattavano di traumi diretti, fratture, patologie neurologiche o neoplastiche a livello dell’articolazione scapolo-omerale.

• **CARATTERISTICHE DEGLI STUDI**

In base alla ricerca e alla selezione effettuata sono stati presi in considerazione 17 articoli di cui 13 in formato full text e 4 abstract.

*Studi descrittivi:* 2, 4, 7, 10, 11, 14, 16.

*Trial clinici :* 1, 3, 5, 6, 8, 9, 12, 15, 17,18 (TAB. 1)

**TAB. 1** Caratteristiche dei trial clinici presi in considerazione (riguardanti la posizione scapolare e la cinematica scapolo-toracica fisiologica. Cap. 3.A)

AUT	TITOLO	RIVISTA	SCOPO	POPOL	RISULTATI	CONCLUSIONI
Ebaugh DD, McClure PW, Karduna AR (3)	Three-dimensional scapulothoracic motion during active and passive arm elevation	Clin Biomech (Bristol, Avon). 2005 Aug;20(7):700-9	Determinare gli effetti dei differenti livelli dell’attività muscolare nel movimento tridimensionale scapolo-toracico (durante i movimenti attivi e passivi del braccio)	20 soggetti senza storia di patologie alla spalla	Il movimento scapolare è stato analizzato durante il tentativo passivo e attivo di elevazione del braccio. E’ stato osservato che durante i movimenti attivi c’era più rotazione esterna della scapola e più rotazione verso l’alto (maggiormente pronunciata a 90-120 gradi di elevazione del braccio)	Il trapezio superiore e inferiore e il gran dentato hanno un importante ruolo nella produzione della rotazione verso l’alto della scapola specialmente durante la fase intermedia di elevazione del braccio (tra 90° e 120°)
Lewis J, Green A, Reichard Z, Wright C. (5)	Scapular position: the validity of skin surface palpation	Man Ther. 2002 Feb;7(1):26-30	Lo scopo di questo studio era la determinazione della validità della palpazione superficiale come valido indicatore dell’attuale posizione della scapola	Sono state esaminate le spalle di 20 soggetti	La differenza tra la posizione superficiale rilevata durante la palpazione e il reale punto di repere osseo è in media: 0.67 cm per la radice della spina della scapola, 0.98 cm per l’angolo acromiale e 0.46 cm per l’angolo inferiore	I risultati di questi studi suggeriscono che la palpazione superficiale della scapola è un valido metodo per determinare la posizione della scapola.

McClure PW, Michener LA, Sennett BJ, Karduna AR (9)	Direct 3-dimensional measurement of scapular kinematics during dynamic movements in vivo	J Shoulder Elbow Surg. 2001 May-Jun;10(3):269-77	Descrivere il modello dei movimenti tridimensionali della scapola durante il movimento della spalla.	8 soggetti sani volontari (5 uomini e 3 donne)	Durante l'elevazione attiva sul piano della scapola, la scapola ruota verso l'alto (50°), esegue un tilt posteriore attorno all'asse medio laterale (30°), e ruota esternamente attorno a un asse verticale (24°). Il movimento glenomerale rispetto a quello scapolo-toracico è 1.7:1.	La mobilità scapolare normale consiste sostanzialmente nella rotazione attorno a 3 assi (non nel solo movimento di up-ward rotation). Conoscere il movimento fisiologico della scapola è fondamentale per identificare quelli patologici associati allo sviluppo di dolore alla spalla
---	--	--	--	--	---	--

**TAB. 2** Caratteristiche dei trial clinici presi in considerazione (riguardanti il coinvolgimento della scapola nello sviluppo di patologie di spalla. Cap.3.C)

AUT	TITOLO	RIVISTA	SCOPO	POPOL	RISULTATI	CONCLUSIONI
Borstad JD, Ludewig PM (1)	Comparison of scapular kinematics between elevation and lowering of the arm in the scapular plane	Clin Biomech (Bristol, Avon). 2002 Nov-Dec;17(9-10):650-9	Confrontare l'orientamento scapolare in pazienti sani o con shoulder impingement nella fase concentrica (elevazione) e in quella eccentrica (abbassamento) del movimento di flessione di spalla sul piano scapolare (e ritorno)	26 soggetti sintomatici per impingement e 26 soggetti sani	Si evidenzia un significativo aumento della rotazione interna nella fase eccentrica in entrambi i gruppi (a 100°). Solo nel gruppo sintomatico si rileva un importante aumento della rotazione interna anche a 120°. Il tipping anteriore della scapola diminuisce significativamente durante la fase eccentrica in entrambi i gruppi a 80°, 100° e 120°	Negli ultimi gradi di elevazione dell'omero ci sono differenze nel tipping e nella rotazione interna della scapola a seconda che si analizzi la fase eccentrica o concentrica. Il gruppo sintomatico, rispetto al gruppo sano dimostra avere una significativa riduzione dell'up-ward rotation nei gradi minori di elevazione dell'omero e un significativo aumento del tipping anteriore nei gradi finali di elevazione dell'omero
Lukasiewicz AC, McClure P, Michener L, Pratt N, Sennett B (6)	Comparison of 3-dimensional scapular position and orientation between subjects with and without shoulder impingement.	J Orthop Sports Phys Ther. 1999 Oct;29(10):574-83; discussion 584-6	Confrontare la posizione e l'orientamento scapolare in soggetti sani o con impingement syndrome	20 soggetti sani e 17 pazienti con impingement syndrome	Rispetto ai soggetti sani quelli con impingement mostrano avere una significativa diminuzione del tilt posteriore della scapola sul piano sagittale. Si evidenzia inoltre in questi soggetti una posizione scapolare più elevata (rispetto ai sani) nel momento di massima elevazione dell'arto superiore	Questi risultati suggeriscono che un'alterata cinematica scapolare può essere un aspetto importante dell'impingement syndrome

Tesi di Maggi Elisa  
 “Il ruolo della scapola: implicazioni cliniche delle disfunzioni di movimento”

McClure PW, Michener LA, Karduna AR (8)	Shoulder function and 3-dimensional scapular kinematics in people with and without shoulder impingement syndrome	Phys Ther. 2006 Aug;86(8):1075-90	Confrontare la cinematica tridimensionale della scapola in soggetti sani o con sindrome da impingement primario	45 soggetti con sindrome da impingement e 45 soggetti senza patologie conosciute	I soggetti con l'impingement (rispetto ai sani) mostrano avere un lieve aumento di: - upward rotation della scapola durante la flessione della spalla - tilt posteriore scapola durante l'elevazione sul piano scapolare	La differenza cinematica trovata nei soggetti con impingement può rappresentare un tentativo di compenso della scapola toracica per ovviare a una perdita di movimento a livello gleno omerale
Vermeulen HM, Stokdijk M, Eilers PH, Meskers CG, Rozing PM, Vliet Vlieland TP(15)	Measurement of three dimensional shoulder movement patterns with an electromagnetic tracking device in patients with a frozen shoulder	Ann Rheum Dis. 2002 Feb;61(2):115-20	Confrontare i pattern di movimento tridimensionali della scapola (spalla affetta e non) in soggetti con frozen shoulder prima e dopo 3 mesi di terapia fisica	10 pazienti con frozen shoulder unilaterale	Esiste una sostanziale differenza tra la spalla affetta da frozen shoulder e quella sana nei movimenti di flessione anteriore, abduzione e adduzione scapolare sul piano frontale	I pattern di movimento alterati nella frozen shoulder sono caratterizzati dalla perdita di rotazione laterale della scapola in relazione alla rotazione gleno omerale durante l'elevazione dell'omero.
von Eisenhart-Rothe R, Matsen FA 3rd, Eckstein F, Vogl T, Graichen H. (17)	Pathomechanics in atraumatic shoulder instability: scapular positioning correlates with humeral head centering	Clin Orthop Relat Res. 2005 Apr;(433):82-9	Analizzare la posizione scapolare tridimensionale e il centraggio gleno omerale in soggetti normali e con instabilità atraumatica di spalla	28 volontari sani e 14 pazienti con instabilità atraumatica di spalla	In tutti i soggetti con instabilità di spalla si nota un aumento della rotazione interna della scapola nel piano trasverso. Le spalle instabili mostrano avere errato centraggio della testa omerale nella direzione dell'instabilità durante varie posizioni dell'arto superiore	La stretta correlazione tra la posizione scapolare e la posizione gleno omerale suggerisce che il posizionamento scapolare è di rilevanza fondamentale per un corretto centraggio della testa dell'omero nella glena

**TAB. 3** Caratteristiche dei trial clinici presi in considerazione (riguardanti le strategie di valutazione della posizione e dei movimenti scapolari. Cap. 3.D)

AUT	TITOLO	RIVISTA	SCOPO	POPOL	RISULTATI	CONCLUSIONI
Roy JS, Moffet H, Hébert LJ, St-Vincent G, McFadyen BJ (12)	The reliability of three-dimensional scapular attitudes in healthy people and people with shoulder impingement syndrome	BMC Musculoskeletal Disord. 2007 Jun 21;8:49	Valutare l'affidabilità del sistema "Optotrak Probing Sistem" in misurazioni della posizione scapolare 3-D in diverse posizioni del braccio in soggetti sani. Effettuare poi le stesse rilevazioni in soggetti con shoulder impingement syndrome	15 soggetti sani e 8 soggetti con impingement sub acromiale	Sono stati rilevati alti livelli di affidabilità inter-operatore utilizzando il sistema "Optotrak Probing Sistem" per misurare la posizione scapolare 3D. I risultati migliori sono stati ottenuti utilizzando il metodo di calcolo relativo al tronco (rispetto al metodo relativo alla scapola a riposo)	La stima dei movimenti scapolari in 3D utilizzando il metodo di calcolo relativo al tronco è riproducibile in 3 posizioni dell'arto e la valutazione ottenuta può essere utilizzata come testimonianza del comportamento scapolare

Tesi di Maggi Elisa  
 “Il ruolo della scapola: implicazioni cliniche delle disfunzioni di movimento”

<p>Watson L, Balster SM, Finch C, Dalziel R (18)</p>	<p>Measurement of scapula upward rotation: a reliable clinical procedure</p>	<p>Br J Sports Med. 2005 Sep;39(9):599-603</p>	<p>Determinare l'affidabilità “Plurimeter-V gravity inclinometer” per la misurazione dell’ up-ward rotation della scapola durante l’elevazione-abduzione omerale in pazienti con patologie di spalla</p>	<p>26 pazienti (che mostravano un vasto spettro di patologie di spalla)</p>	<p>Non sono state rilevate differenze tra le 2 batterie di misurazioni eseguite con un’ottima affidabilità della misurazione</p>	<p>Il “Plurimeter-V gravity inclinometer” può esser effettivamente usato con buona affidabilità come misuratore dell’up-ward rotation della scapola in tutto il range di movimento in abduzione della spalla</p>
--	--	--	--	---	--	--

### **3. DISCUSSIONE**

#### **A. ANATOMIA FUNZIONALE DELL'ARTICOLAZIONE SCAPOLO-TORACICA**

##### ***a) SCAPOLA***

La scapola è un osso largo, piatto e triangolare situato sulla faccia postero laterale del torace e adeso ad essa.

Il posizionamento della scapola “a riposo” è un primo indicatore delle possibili alterazioni della lunghezza muscolare e della posizione articolare e può essere valutato in maniera efficace e validata dalla palpazione attraverso la cute di 3 principali punti di reperi: la radice della spina della scapola, l'acromion e l'angolo scapolare inferiore (5).

L'allineamento fisiologico della scapola prevede che questa sia situata approssimativamente a 7,5 cm dalla linea mediana del torace occupando una posizione tra T2-T3 (angolo superiore) e T7-T8 (angolo inferiore) ed essendo inclinata di 30°-40° in avanti rispetto al piano frontale (14).

##### ***b) ARTICOLAZIONE SCAPOLOTORACICA***

Tra l'aspetto anteriore della scapola (concavo) e la parte postero laterale del torace (convesso) non esiste una vera e propria articolazione anatomica, si parla piuttosto di articolazione fisiologica o “piano di scorrimento” che conferisce al complesso scapolo toracico una grande mobilità in tutte le direzioni (protrazione, retrazione, elevazione, depressione e rotazione). Considerato questo diventa ancora più essenziale il concetto di stabilità dinamica della scapola durante i movimenti dell'arto superiore e cioè il

controllo della traslazione articolare della testa dell'omero nella glena durante tutto il range di movimento (2).

Per attuare in maniera corretta tale controllo del movimento è indispensabile l'integrità e l'interazione reciproca e coordinata di 3 sistemi (Panjabi):

- Articolare: tessuti molli non contrattili (capsula, legamenti, ossa ecc)
- Mio-fasciale: muscolotendineo
- Neurale: recettori, vie nervose, sinapsi

Per quanto riguarda il sistema mio fasciale a livello cinematico nella scapola si distinguono 2 principali gruppi muscolari con funzioni complementari (14, 13):

- *Muscoli toraco-scapolari*: responsabili del controllo dei movimenti della scapola rispetto al torace al fine di mantenere una relazione ottimale tra glena e testa dell'omero.

Sono: trapezio, elevatore della scapola, romboidi, gran dentato, piccolo pettorale.

- *Muscoli scapolo-omerale*: responsabili del controllo e della stabilizzazione della testa dell'omero nei suoi movimenti rispetto alla glenoide.

Sono: sopraspinato, infraspinato, piccolo rotondo, grande rotondo, sottoscapolare, deltoide

La chiave del movimento della scapola è rappresentata in particolare dalla coppia di forze generata dal muscolo *trapezio* (che adduce e ruota cranialmente la scapola) e dal *gran dentato* (che abduce la scapola e la fa aderire al torace) (2-14).

Il ritmo scapolo-omerale durante la flessione e l'abduzione del braccio è stato descritto per la prima volta da Inman et al nel 1944 e ad oggi è ancora ritenuto valido (10,11,13,16):

- 0°-60° DI FLEX / 0°-30° DI ABDUZIONE

La scapola rimane relativamente ferma nella posizione di riposo grazie alla co-contrazione di trapezio e dentato anteriore che mantengono la scapola adesa alla gabbia toracica (attivazione muscolare anticipata rispetto ai muscoli motori della gleno-omerale).

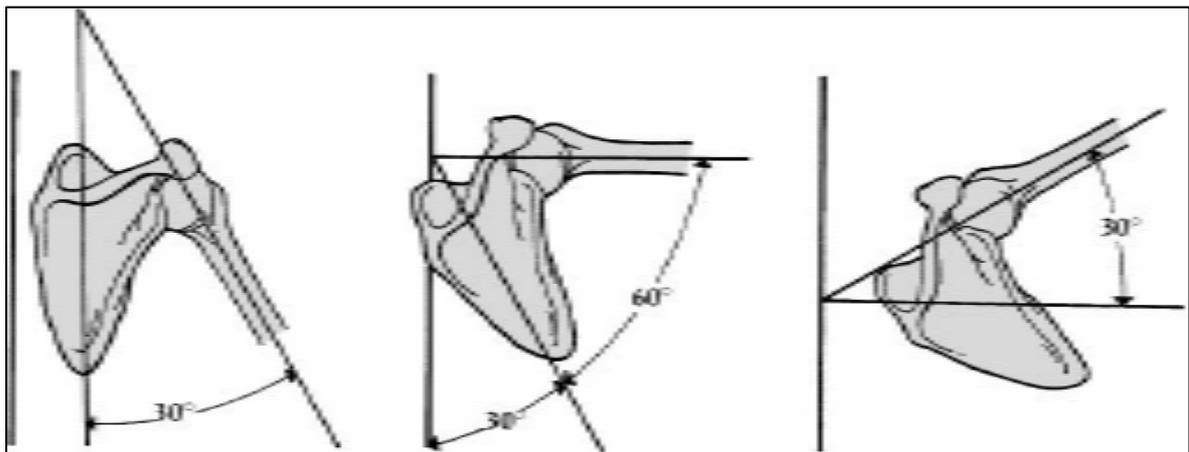
- 60°-140° DI FLEX / 30°-90° DI ABDUZIONE

La scapola inizia a ruotare lateralmente in una proporzione relativamente costante di 1:2 rispetto alla gleno-omerale.

- OLTRE I 140° DI FLEX / OLTRE I 90° DI ABDUZIONE

Scapola e omero si muovono con un rapporto reciproco di 1:1.

Al completamento dell'escursione della spalla in elevazione l'articolazione gleno-omerale compie 120° di escursione, la scapolo-toracica 60° (13).



**FIG. 1** Nei primi 30° di ABD GO non si realizzano movimenti scapolari (Setting phase).  
Da 30° a 90° la scapola si abduce e ruota verso l'alto di 1° ogni 2° di elevazione omerale.  
Oltre i 90° scapola ed omero si muovono con un rapporto 1:1.  
Tratto da Sharman S.A. (13)

Negli ultimi 10 anni sono emersi però studi più approfonditi sulla cinematica scapolare che prendono in considerazione l'aspetto tridimensionale del movimento.

Van der Helm and Pronk nel 1995 (e successivamente altri autori come Ludewig et al.,1996; Meskers et al., 1998; de Groot, 1999; Ludewig and Cook,2000; Lukasiewicz et al., 1999; Price et al., 2000;Karduna et al., 2001)

(3) dimostrarono che la scapola durante l'elevazione dell'arto superiore va incontro a 3 movimenti principali:

- UPWARD ROTATION (in misura maggiore) (FIG. 2)

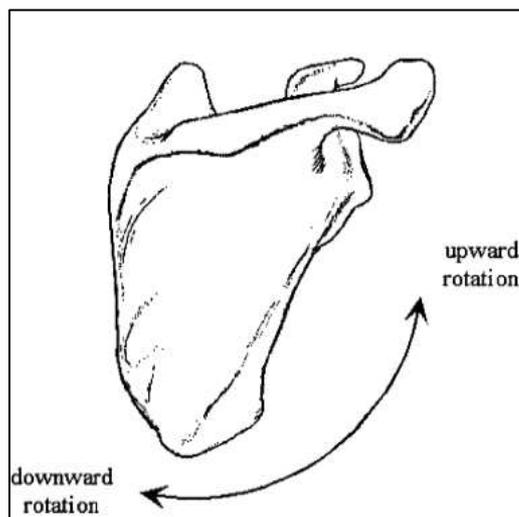
Movimento intorno all'asse antero-posteriore, con l'angolo inferiore della scapola che si muove lateralmente

- EXTERNAL ROTATION (FIG. 3)

Movimento intorno all'asse caudo-craniale, con il bordo laterale della scapola che si muove posteriormente

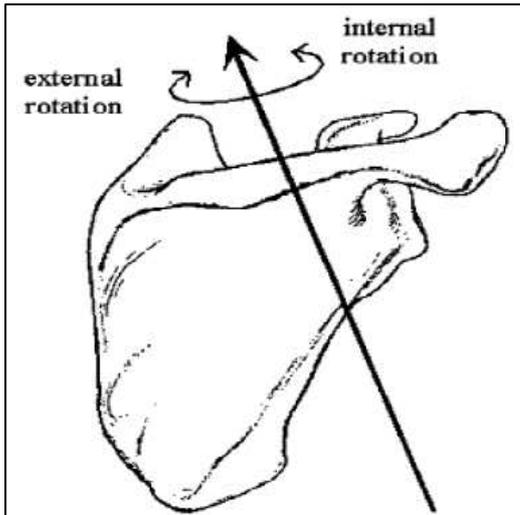
- POSTERIOR TILTING (FIG. 4)

Movimento intorno all'asse medio-laterale, con l'angolo inferiore della scapola che si muove anteriormente

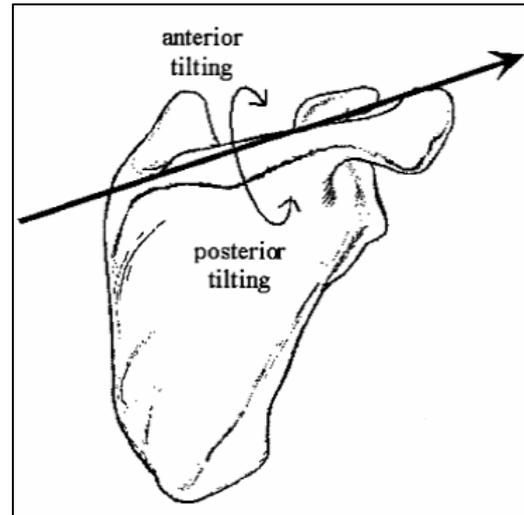


**FIG. 2** Movimenti di downward e upward rotation della scapola

(Tratto da McClure (8))



**FIG. 3** Movimenti di external e internal rotation della scapola  
(Tratto da McClure (8))



**FIG. 4** Movimenti di anterior e posterior tilting della scapola  
(Tratto da McClure (8))

Nel 2001 McClure et al (9) arrivarono a misurare la quantità di movimento della scapolo-toracica durante l'elevazione gleno-omerale attiva:

- UPWARD ROTATION:  $50^{\circ} \pm 5^{\circ}$
- EXTERNAL ROTATION:  $24^{\circ} \pm 13^{\circ}$
- POSTERIOR TILTING:  $30^{\circ} \pm 12^{\circ}$

Per quanto riguarda la diversa cinematica scapolare durante la fase concentrica di elevazione della gleno-omerale e il successivo ritorno (fase eccentrica) uno studio di J.D.Borstad et al del 2002 (1) indica come le differenze sostanziali si evidenzino solo oltre gli  $80^{\circ}/100^{\circ}$  di elevazione del braccio e solo in certi movimenti della scapola.

In particolare nella fase eccentrica si verifica un aumento della rotazione interna e una diminuzione del tipping anteriore della scapola.

Non ci sono invece differenze significative nell' up-ward/down-ward rotation e negli altri movimenti scapolari quando l'elevazione del braccio è al di sotto degli 80°/100°.

***c) PATTERN FISIOLOGICO DI ATTIVAZIONE MUSCOLARE  
SCAPOLARE***

I movimenti scapolari sopra elencati sono prodotti e controllati principalmente da una coppia di forze generata il muscolo *trapezio* e *dentato anteriore*.

In particolare durante l' up-ward rotation della scapola (associata a elevazione del braccio) seguono la seguente successione di attivazione (Bagg and Forrest,1986):

- FASE INIZIALE (0°-100°): sono attivi il trapezio superiore e la parte inferiore del dentato anteriore
- FASE INTERMEDIA (100°- 150°): aumenta la sua attività il trapezio inferiore
- FASE FINALE (150°-180°): attività pressoché equivalente di trapezio superiore, trapezio inferiore e dentato anteriore.

## **B. CINEMATICA SCAPOLO-TORACICA PATOLOGICA**

Abbiamo fino ad ora analizzato la cinematica scapolare fisiologica ma la scapola può andare incontro a diverse disfunzioni.

Queste sono dovute in genere ad una cattiva posizione di partenza della scapola o ad un alterato timing di attivazione dei muscoli toraco-scapolari durante i movimenti attivi del braccio (13).

### ***a) ALLINEAMENTO SCAPOLARE ALTERATO***

Esistono innumerevoli alterazioni di posizionamento “a riposo” della scapola spesso correlabili allo sviluppo di dolore alla spalla (13).

Le più frequenti e rilevanti sono:

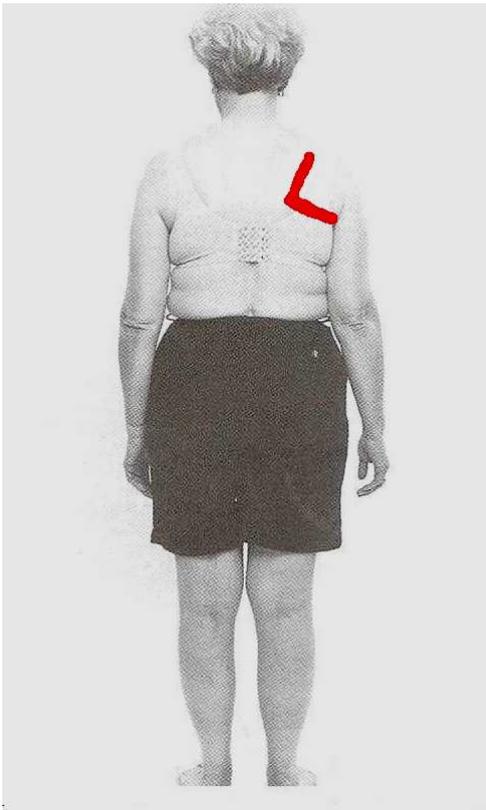
- **ROTAZIONE CAUDALE (FIG. 5 e 6)**

L'angolo inferiore della scapola è mediale rispetto alla radice della scapola e il suo margine vertebrale non è più parallelo alla colonna.

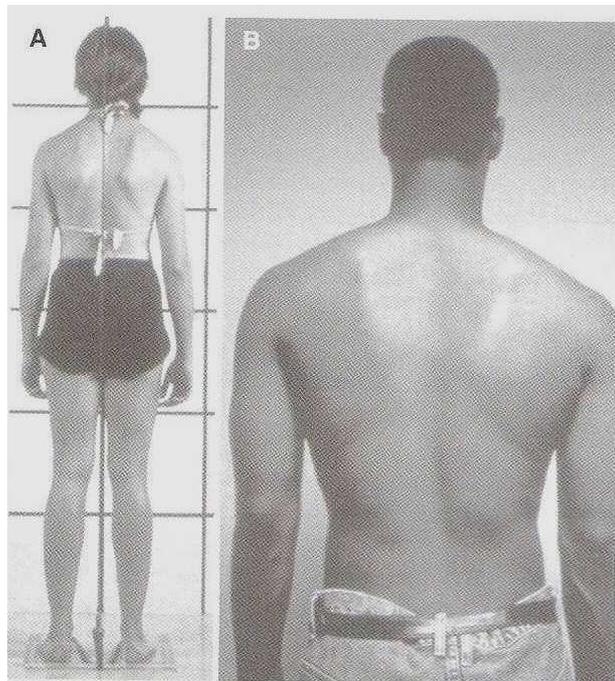
E' associata solitamente a un accorciamento mentre sono lunghi.

*Muscoli accorciati e rigidi:* elevatore della scapola e romboidi

*Muscoli deboli/allungati:* trapezio superiore e gran dentato



**FIG. 5** Scapola ruotata caudalmente (in rosso). La cifosi toracica contribuisce a questo allineamento della scapola.  
Tratto da Tratto da Sharman S.A. (13)



**FIG. 6** Scapola ruotata caudalmente. Possibili cause:  
**A.** Scapola sinistra: accorciamento dei romboidi  
Scapola destra: accorciamento deltoide e sovraspinoso  
**B.** Lunghezza eccessiva del trapezio superiore e gran dentato  
Tratto da Tratto da Sharman S.A. (13)

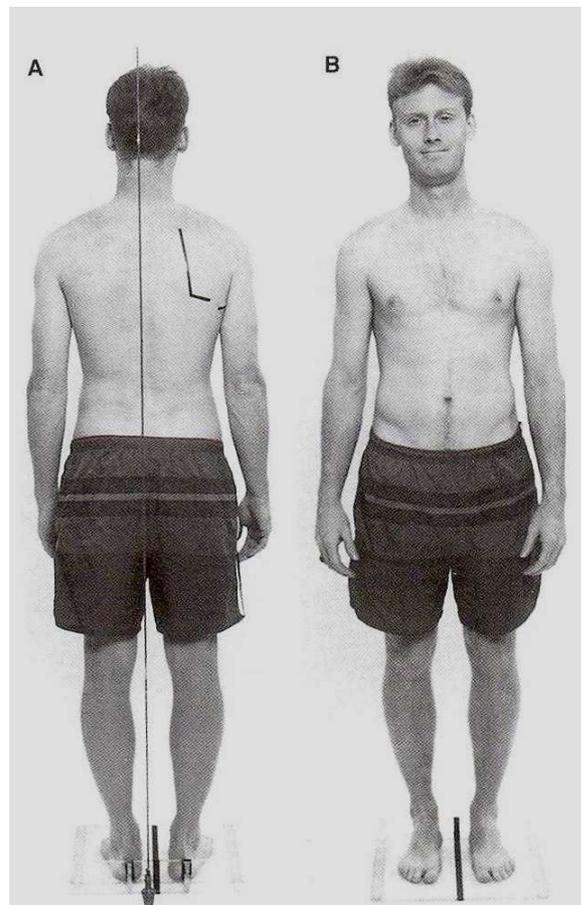
- DEPRESSIONE (FIG. 7)

Il bordo superiore della scapola è posizionato più in basso rispetto al riferimento posto su T2-T3.

Questo atteggiamento fa dedurre che il in associazione ad un accorciamento del.

*Muscoli accorciati e rigidi:* gran dorsale, piccolo e grande pettorale e trapezio inferiore

*Muscoli deboli/allungati:* trapezio superiore e gran dentato



**FIG. 7** Spalle depresse. **A.** Vista dorsale: angolo superiore della scapola è più in basso di T2. **B.** Vista frontale: clavicola appare orizzontale. Tratto da Tratto da Sharman S.A. (13)

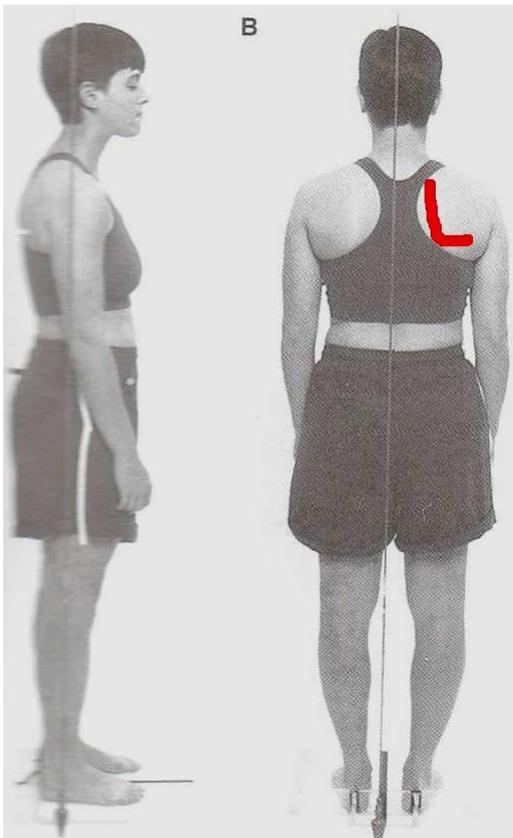
- ABDUZIONE (FIG 8 e 9)

Il bordo vertebrale della scapola dista più di 7,5 cm dalla linea mediana del torace ed è ruotata anteriormente di più di 30° rispetto al pino frontale.

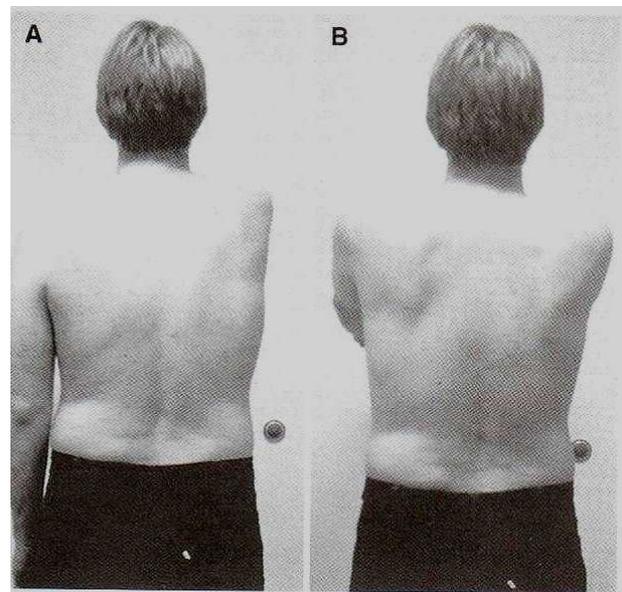
La causa più comune della posizione della scapola in abduzione è un accorciamento del gran dentato e/o del gran pettorale.

*Muscoli accorciati e rigidi:* dentato anteriore, pettorali, scapolo-omerale

*Muscoli deboli/allungati:* trapezio (sup, med, inf), romboidi



**FIG. 8** Spalle abdotte e interiorizzate. **A.** Vista laterale: articolazione GO anteriorizzata rispetto alla linea mediana del corpo. **B.** Visione posteriore: mani avanzate rispetto alle anche e scapole abdotte (in rosso)  
Tratto da Tratto da Sharman S.A. (13)



**FIG. 9** Eccessiva abduzione scapolare  
**A.** La scapola è eccessivamente abdotta durante la flessione di spalla  
**B.** Il pz può limitare attivamente il grado di abduzione scapolare.  
Tratto da Tratto da Sharman S.A. (13)

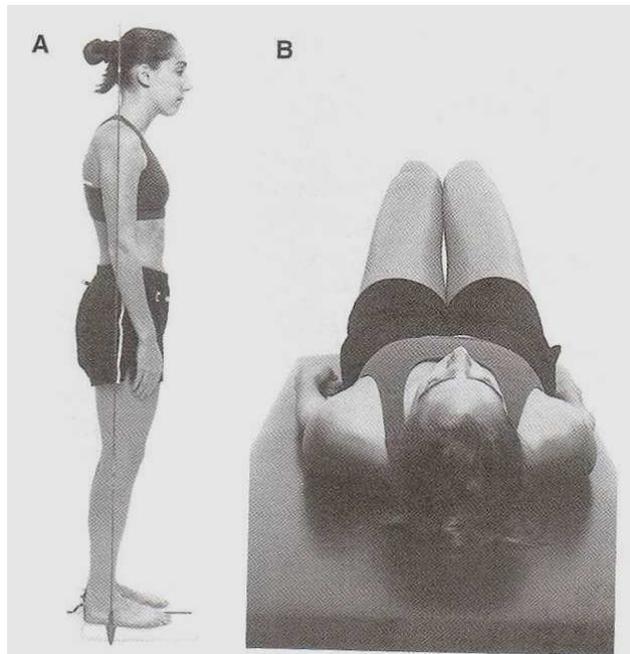
- TILT ANTERIORE (FIG. 10)

L'angolo inferiore della scapola è scollato dalla gabbia toracica.

Solitamente questo atteggiamento è imputabile a un accorciamento del piccolo pettorale (o del capo breve del bicipite brachiale).

*Muscoli accorciati e rigidi* : pettorale grande e piccolo, bicipite (capo breve), scapolo-omerali

*Muscoli deboli /allungati* : dentato anteriore, trapezio inferiore



**FIG. 10** Scapola in tilt anteriore. **A.** L'angolo inferiore della scapola si scolla dal torace e il processo coracoideo è in tilt anteriore. **B.** In posizione supina il tilt della scapola è associato all'accorciamento del piccolo pettorale.  
Tratto da Tratto da Sharman S.A. (13)

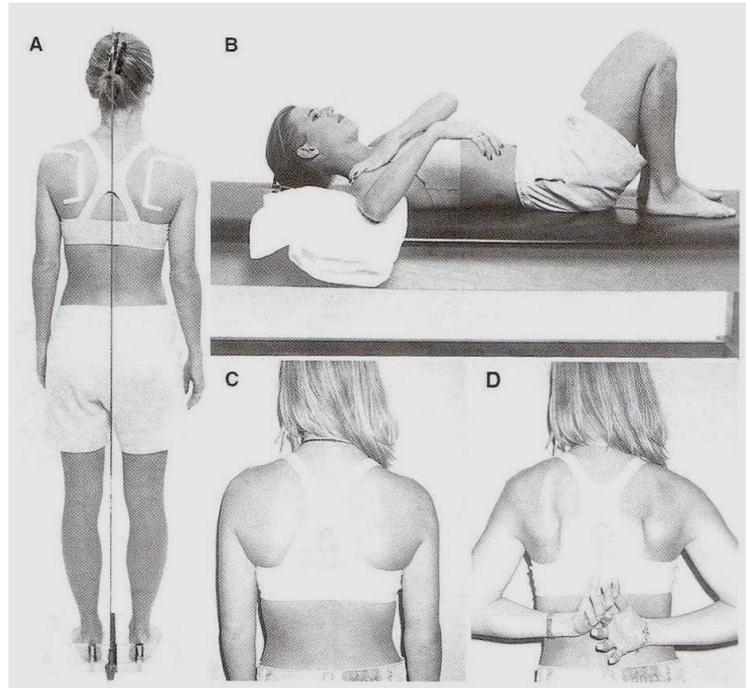
- SCAPOLA ALATA (FIG. 11)

Il bordo vertebrale della scapola si stacca posteriormente dal torace.

E' un allineamento associato spesso a un deficit del gran dentato.

*Muscoli accorciati e rigidi:* piccolo pettorale, deltoide, sovraspinato

*Muscoli deboli /allungati:* gran dentato, trapezio



**FIG. 11** Scapola alata. **A.** Il margine vertebrale della scapola si scolla dal torace **B.** In posiz. supina il movimento della rotazione interna di spalla è limitato dall'accorciamento dei muscoli rotatori esterni **C.** Scapole alate in posizione anatomica **D.** Nel corso dell' intrarotazione omerale l'accorciamento dei muscoli scapolo omerali evidenzia in maniera netta la condizione di scapola alata.  
Tratto da Tratto da Sharman S.A. (13)

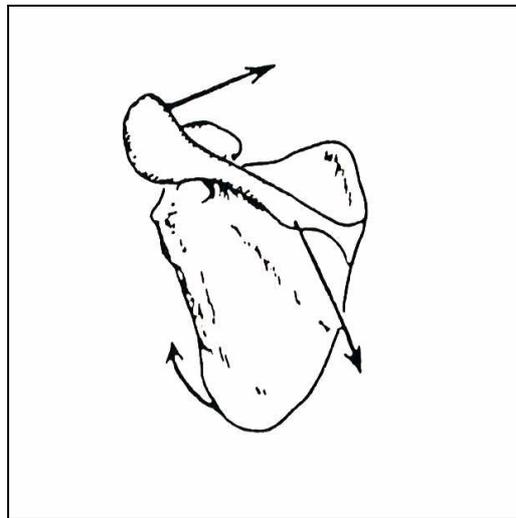
***b) ALTERATO TIMING DI ATTIVAZIONE MUSCOLARE***

Molte delle patologie dovute ad alterazioni biomeccaniche o a over-use che interessano la spalla possono essere ricondotte e associate a alterazioni di funzione dei muscoli stabilizzatori scapolari.

I traumi diretti, i microtraumi e il dolore alla spalla agiscono come inibitori di questi muscoli generando un'alterazione del normale pattern di attivazione muscolare a livello della scapolo-toracica.

Nella cinematica fisiologica, infatti, durante il movimento di elevazione del braccio, il *dentato anteriore* e il *trapezio inferiore e medio* costituiscono un'importante coppia di forze (FIG. 12) che produce un movimento di *upward rotation* della scapola con conseguente rotazione superiore dell'acromion.

Se tutto ciò non avviene il soggetto può andare incontro allo sviluppo di diverse sindromi algiche della spalla.



**FIG. 12** Azione simultanea del trapezio medio (freccia rivolta in alto e a destra), trapezio inferiore (freccia rivolta in basso), e dentato anteriore (freccia rivolta in alto e a sinistra). (*Adattata da McMin*)

Nel 2000 Ludewing and Cook dimostrarono come in una popolazione di lavoratori con attività over-head che presentavano impingement era presente, durante l'elevazione, un' aumento dell'attività muscolare di trapezio superiore e inferiore correlata però ad una diminuzione di attività muscolare del dentato anteriore(1).

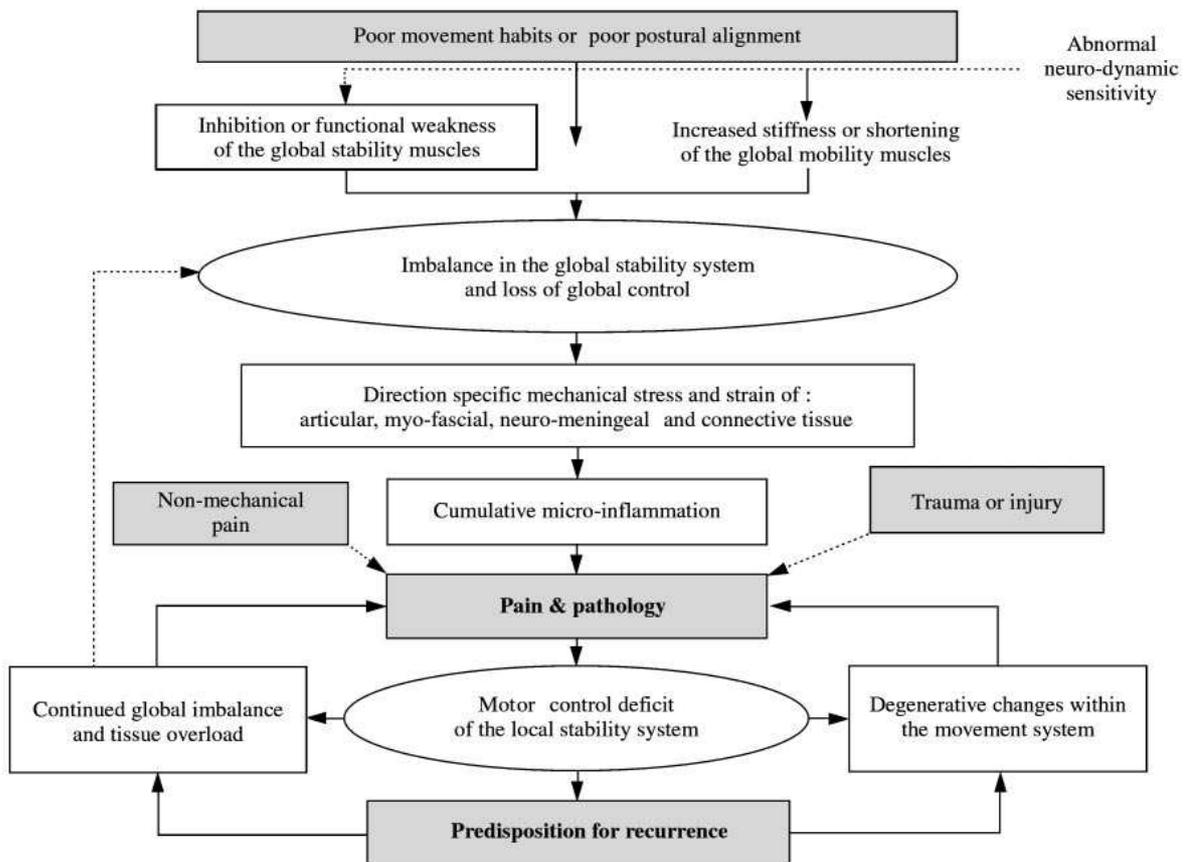
Nel caso estremo invece di completa paralisi del dentato anteriore si può notare una sensibile diminuzione dell'articolari  della spalla in elevazione e in abduzione a conferma dell'importanza di questo muscolo nella cinematica fisiologica dell'arto superiore.

## C. IMPLICAZIONI CLINICHE DELLE DISFUNZIONI DEL MOVIMENTO

Le disfunzioni a livello della scapolo toracica possono essere sia la causa che la conseguenza di altre disfunzioni o patologie.

Inoltre quadri disfunzionali diversi legati a un alterato posizionamento della scapola o a un alterato pattern di attivazione muscolare possono condurre allo sviluppo di sintomi, condizioni dolorose e patologie simili tra loro.

Le sindromi da disfunzioni del movimento sono definite come “condizioni di dolore localizzato che origina dall’irritazione del tessuto mio fasciale periarticolare e articolare derivato e mantenuto da microtraumi meccanici durante l’esecuzione di movimenti ripetuti” (13)



SCHEMA 1. Modello esplicativo per l’insorgenza di disfunz. del movimento. Tratto da Comerford (2)

**a) *IMPINGEMENT SUB-ACROMIALE***

L'impingement sub-acromiale ha solitamente un'eziologia multifattoriale ed è una delle cause più comuni di dolore alla spalla.

E' forse per questo motivo che in letteratura sono presenti molti studi che riguardano la ricerca delle possibili cause dell'impingement e che vanno a indagare il coinvolgimento dell'articolazione scapolo-toracica in tale patologia(10,12,8,6).

Quello dei movimenti scapolari in pazienti con SAIS è tuttavia ancora un argomento fortemente dibattuto (TAB 4) (8).

Esistono infatti studi che dimostrano una diminuzione netta dell' up-ward rotation e del posterior tilt della scapola durante i movimenti di elevazione/abduzione della spalla in pazienti con impingement (1, 6) andando a imputare proprio a questo deficit di mobilità la causa dello sviluppo del dolore.

Secondo la biomeccanica è evidente infatti che un'insufficiente rotazione craniale della scapola durante la flessione o l'abduzione del braccio può determinare il conflitto tra la testa omerale e l'arco coraco-acromiale con conseguente pinzamento delle strutture comprese (borse, tendini cuffia dei rotatori, tendine del capo lungo del bicipite).

Altri e più recenti studi (8) mostrano invece, al contrario, un lieve aumento dei movimenti di up-ward rotation, posterior tilt della scapola e retrazione della clavicola giustificando questo con un tentativo di compenso della scapola atto ad aumentare lo spazio sub-acromiale.

Tesi di Maggi Elisa  
 “Il ruolo della scapola: implicazioni cliniche delle disfunzioni di movimento”

ARTICOLO	SOGGETTI	METODI	RISULTATI
Warner et al <sup>36</sup>	22 asintomatici 22 instabili 7 impingement	Moirè Topography per accertare le asimmetrie Un aumento della topografia può essere prodotto da una rotazione interna di scapola o da un tilt anteriore Elevazione statica e dinamica con e senza carico	Test statico: asimmetria scapolare presente nel 14% dei soggetti di controllo, 32% di quelli instabili, 57% di quelli con impingement. Test dinamico: asimmetria scapolare presente nel 18% dei soggetti di controllo, 64% di quelli instabili, 100% di quelli con impingement
Lucasiewicz et al <sup>10</sup>	17 impingement 10 asintomatici	Eletromechanical digitizer Elevazione sul piano scapolare Misura statica ogni 30° di aumento di elevazione omerale	Perdita del tilt posteriore Grande elevazione superiore della scapola
Ludewing and Cook <sup>11</sup>	26 impingement 26 asintomatici	Electromagnetic tracking Elevazione sul piano scapolare Movimenti dinamici con e senza carico	Piccolo tilt anteriore anziché posteriore Perdita di up-ward rotation Grande rotazione interna in condizioni di carico
Endo et al <sup>25</sup>	27 impingement unilaterali 54 spalle	Radiografie antero-posteriori a 0°,45°,90° Indiretta, misura lineare per registrare il tilt scapolare e la rotazione interna Misura statica, elevazione sul piano coronale	Perdita del tilt posteriore Perdita di up-ward rotation
Graichen et al <sup>24</sup>	20 impingement (14 grado 1 e 2; 6 grado 3) 14 asintomatici	Risonanza magnetica con immagini 3D	Non ci sono differenze significative tra i gruppi 5 soggetti mostrano un chiaro aumento dell'up-ward rotation
Hebert et al <sup>23</sup>	41 con segni minimi di impingement (29 che mostravano realmente impingement) 10 asintomatici	Electromagnetic tracking Elevazione sul piano sagittale e sul piano frontale Misure statiche a riposo e a 70°, 90°, 110°	Nessuna differenza tra la posizione scapolare in soggetti con e senza impingement Grande rotazione interna rispetto ai soggetti di controllo
McClure PW et al (8)	45 impingement 45 asintomatici	Electromagnetic tracking Elevazione sul piano sagittale e sul piano scapolare Rotazione esterna omero a 90° Movimenti dinamici senza carico	Piano sagittale: grande up-ward rotation e elevazione clavicolare Piano scapolare: grande tilt posteriore e retrazione della clavicola

**36** Warner JJP, Micheli LJ, Arslanian LE, et al. Scapulothoracic motion in normal shoulders and shoulders with glenohumeral instability and impingement syndrome. *Clin Orthop*. 1992;285:191–199.

**10** Lukasiewicz AC, McClure P, Michener L, et al. Comparison of 3-dimensional scapular position and orientation between subjects with

and without shoulder impingement. *J Orthop Sports Phys Ther*. 1999;29: 574–583.

**11** Ludewig PM, Cook TM. Alterations in shoulder kinematics and associated muscle activity in people with symptoms of shoulder impingement. *Phys Ther*. 2000;80:276–291.

**25** Endo K, Ikata T, Katoh S, Takeda Y. Radiographic assessment of scapular rotational tilt in chronic shoulder impingement syndrome. *J Orthop Sci*. 2001;6:3–10.

**24** Graichen H, Stammberger T, Bonel H, et al. Three-dimensional analysis of shoulder girdle and supraspinatus motion patterns in patients with impingement syndrome. *J Orthop Res*. 2001;19:1192–1198.

**23** Hebert LJ, Moffet H, McFadyen BJ, Dionne CE. Scapular behaviour in shoulder impingement syndrome. *Arch Phys Med Rehabil*. 2002;83:60–69.

**TAB 4.** Riepilogo degli studi più rilevanti riguardanti la cinematica scapolare in pazienti con “impingement syndrom”. (Tratta e tradotta da “Shoulder function and 3-dimensional scapular kinematics in people with and without shoulder impingement syndrome” di McClure PW et al (8))

Questi risultati contrastanti possono essere ricondotti al diverso metodo di misurazione utilizzato nei vari studi oppure può essere interpretato come un dato significativo nella sua disomogeneità.

Può essere cioè che un paziente con impingement syndrome abbia un aumento e un altro una diminuzione dei movimenti di up-ward rotation e posterior tilt della scapola a seconda ad esempio che la disfunzione scapolare sia rispettivamente la conseguenza (compenso) o la causa dell'impingement. L'impingement inoltre non è una patologia ma una sindrome e raggruppa al suo interno diverse disfunzioni e può comprendere anche diverse alterazioni della cinematica scapolare.

### ***b) INSTABILITÀ ATRAUMATICA***

Un alterato posizionamento della scapola può predisporre allo sviluppo o al mantenimento di condizioni di instabilità della gleno-omeroale.

Durante la flessione della spalla infatti il deficit di rotazione craniale della scapola (associata a una flessibilità accentuata della gleno-omeroale) induce l'omero ad un movimento di lussazione inferiore.

Inoltre, come dimostrato nella ricerca condotta da von Eisenhart-Rothe et al nel 2005 , esiste una stretta correlazione tra la posizione della scapola e il centraggio della testa omeroale nella glena durante i movimenti dell'arto superiore (17).

Il gruppo di pazienti con instabilità a-traumatica analizzato nello studio sopra citato mostrava un alterazione del ritmo scapolo omeroale, un aumento della rotazione interna sul piano trasversale e un cattivo centraggio della testa omeroale.

Questo dato può essere probabilmente imputabile a un cambiamento delle linee d'azione dei muscoli della cuffia dei rotatori che, a causa di una differente e svantaggiosa posizione dell'inserzione prossimale (scapola) non

sono in grado di sviluppare un'azione stabilizzatrice efficace dell'articolazione gleno-omeroale.

**c) FROZEN SHOULDER**

In uno studio del 2002 Vermulen et al hanno dimostrato che in pazienti affetti da *frozen shoulder* durante l'elevazione del braccio in 3 diversi piani la rotazione laterale della scapola avviene in maniera anticipata rispetto ai soggetti normali, mentre la posizione finale della scapola risulta essere la stessa (15).

Questo alterato pattern di attivazione muscolare scapolare è imputabile probabilmente al tentativo di compensare con una rotazione anticipata della scapola la perdita di movimento a livello gleno-omeroale dovuta alla presenza di aderenze capsulari.

## **D. STRATEGIE DI VALUTAZIONE E METODOLOGIA RIABILITATIVA INTESA A RIEDUCARE LA STABILITÀ DINAMICA E L'EQUILIBRIO MUSCOLARE**

### ***a) VALUTAZIONE***

#### **1. STATICA**

A livello scapolare la valutazione in statica può essere molto significativa e fornire indicazioni importanti fin da una prima osservazione posteriore del paziente (11)

La scapola deve essere localizzata sulla parte posteriore del torace tra la 2° e la 7° costa, con il suo angolo superiore a livello del processo spinoso di T2-T3, la spina della scapola a livello di T3-T4 e l'angolo inferiore a livello di T7, T8 o T9.

E' inoltre inclinata di 30°-40° in avanti rispetto al piano frontale (14).

(CAP. 3.B – Allineamento scapolare alterato)

#### **2. DINAMICA**

Il secondo passo è quello della valutazione dinamica in cui si evidenzia un ritmo scapolo omerale corretto o meno (CAP. 3.A – Pattern fisiologico di attivazione muscolare scapolare).

A questo proposito anche in letteratura esistono recenti proposte di valutazione 3D del movimento scapolare (18, 12) con strumentazioni specifiche in grado di rendere oggettive e quantificabili le variazioni dinamiche dell'orientamento della scapola durante i movimenti dell'arto superiore.

Fondamentale rimane sempre il confronto con l'arto contro-laterale.

## ***b) TRATTAMENTO***

In letteratura c'è grande consenso sul ruolo di primaria importanza che svolgono i muscoli dentato anteriore e trapezio nel controllo della scapolo-toracica (10,16,3,2,14,11).

Prendendo spunto da questi studi sono stati elaborati dei programmi di allenamento specifico che mirano a ristabilire la normale funzione di questa muscolatura qualora in essa si presenti una disfunzione.

Gli esercizi specifici, devono essere poi quanto prima integrati all'interno di un contesto funzionale, che si avvicini il più possibile alle necessità del paziente (attività lavorative, hobbies, sport).

Questo perché il ripristino della stabilità articolare è il presupposto per l'integrità di tutte le strutture articolari, ed anche nella fase acuta della patologia può rivelarsi un'ottima strategia per il controllo dei fattori meccanici patologici.

L'obiettivo finale è l'acquisizione da parte del paziente di un modello di motricità che salvaguardi la propria salute e sia misurato sulle proprie esigenze motorie.

La proposta di riabilitazione della funzionalità muscolare scapolare di seguito riportata deriva dall'intreccio delle evidenze cliniche presenti in letteratura (2, 11, 16) con l'esperienza didattica e clinica del corso di formazione “Kinetic Control – Disfunzioni del movimento dell'arto superiore” basato sui concetti di controllo della zona neutra, controllo della direzione e controllo attraverso il range (Comerford M. Mottram S. 2001)

La “zona neutra” viene definita come un range di movimento articolare, intorno alla posizione neutra, prodotto con una minima resistenza interna.

La capacità di mantenere la posizione neutra implica una contrazione isometrica costante e con piccola forza dei muscoli stabilizzatori locali

1) Il primo obiettivo è la presa di coscienza da parte del paziente di quale sia il setting ideale della scapola.

L'operatore può posizionare passivamente la scapola del paziente nella posizione ideale e richiedere di mantenere tale posizione per alcuni secondi

2) Il secondo obiettivo è l'acquisto della capacità di posizionare autonomamente la scapola nella posizione ideale.

Il paziente può utilizzare come facilitazione la palpazione di alcuni punti di repere (l'indice sul processo coracoideo e il medio sulla testa dell'omero; se posiziona la scapola correttamente, con l'indice avverte uno spostamento in alto e all'indietro del processo coracoideo, mentre il medio rimane fermo)

L'operatore controlla che nella fase di apprendimento non si verificano segni di sostituzione muscolare (cocontrazione di altri muscoli: romboidi, elevatore della scapola, gran dorsale, piccolo pettorale)

Dagli studi di Richardson & Jull del 1995, una maniera efficace di riallenare i muscoli stabilizzatori consiste nella richiesta di sostenere 10 contrazioni isometriche della durata di 10 secondi ciascuna (11) (per evitare un affaticamento precoce degli stabilizzatori e l'insorgenza di fenomeni di sostituzione muscolare, si possono proporre inizialmente poche ripetizioni di esercizi con un carico ridotto).

3) Il terzo obiettivo consiste nel recupero del controllo dinamico del ritmo scapolo-omerale:

Il paziente posiziona correttamente la scapola ed esegue movimenti di flessione fino a 90° e di abduzione fino a 60° senza che intervenga alcun movimento della scapolo-toracica

Questo esercizio richiede ripetizioni lente e con basso carico, in modo da favorire l'attivazione della unità motorie toniche.

Inizialmente il grado di flessione, o di abduzione di spalla raggiunta senza che si manifesti il winging scapolare, può essere utilizzato come strumento di misurazione dell'outcome

4) Il quarto obiettivo consiste nel ristabilire l'equilibrio funzionale tra i vari gruppi muscolari agenti sul cingolo scapolare.

Partendo dalla stabilizzazione attiva della scapola, si possono costruire esercizi di rinforzo per i muscoli della cuffia, il deltoide ecc.

La progressione ideale dovrebbe comprendere contrazioni isometriche, concentriche ed eccentriche

Tale programma d'esercizi, consente di lavorare sul miglioramento della resistenza e della forza dei muscoli stabilizzatori.

5) Il quinto obiettivo consiste nel trasferimento delle abilità motorie acquisite nelle attività funzionali proprie del paziente.

Accanto al riallenamento specifico dei muscoli stabilizzatori, e di norma dopo il raggiungimento di una buona capacità di stabilizzazione, potrebbe rivelarsi opportuno il ricorso a tecniche manuali (per ex. stretching e trattamento dei punti trigger del piccolo pettorale e dell'elevatore della scapola), e all'educazione posturale.

Per ottenere risultati adeguati nella rieducazione dell'instabilità di scapola secondo uno studio di Ellen MI et al del 2000 sarebbero necessari dai 12 ai 18 mesi di esercizi specifici per il ri-allenamento dei muscoli scapolo toracici (4).

## **4. CONCLUSIONI**

Dalla ricerca fatta in letteratura appare evidente che una disfunzione di posizionamento o di movimento della scapola è legata allo sviluppo di sindromi dolorose a livello della spalla.

Tuttavia la dis-cinesia scapolare appare essere una causa non specifica nelle disfunzioni della gleno-omeroale (7) in quanto un'alterazione specifica del pattern di movimento della scapola non corrisponde e non si associa direttamente e univocamente a una sola patologia di spalla.

Non esistono inoltre evidenze su quale sia il corretto rapporto causa-conseguenza tra una discinesia scapolo-toracica e lo sviluppo di sindromi dolorose della spalla.

Un alterato pattern di movimento scapolare potrebbe infatti essere sia la causa dell'insorgenza di patologie della GO sia un tentativo di compenso nei riguardi della funzione alterata della GO (e quindi una conseguenza).

Per quanto riguarda il peso che assume la cinematica scapolare nello sviluppo dell'impingement dai risultati contrastanti riportati in letteratura emerge la necessità di effettuare ulteriori studi e di creare sottogruppi di pazienti con SIAS che comprendano diverse entità eziologiche (al pari di altre sindromi come il low back pain).

Questo permetterebbe di focalizzare l'attenzione sull'eziologia di tale sindrome nei diversi pazienti (creando cluster di test specifici per ogni sottogruppo) e di impostare quindi un intervento riabilitativo più mirato.

## **5. BIBLIOGRAFIA**

1. Borstad JD, Ludewig PM.

Comparison of scapular kinematics between elevation and lowering of the arm in the scapular plane.

Clin Biomech (Bristol, Avon). 2002 Nov-Dec;17(9-10):650-9

2. Comerford MJ, Mottram SL.

Movement and stability dysfunction--contemporary developments.

Man Ther. 2001 Feb;6(1):15-26.

3. Ebaugh DD, McClure PW, Karduna AR.

Three-dimensional scapulothoracic motion during active and passive arm elevation.

Clin Biomech (Bristol, Avon). 2005 Aug;20(7):700-9.

4. Ellen MI, Gilhool JJ, Rogers DP.

Scapular instability. The scapulothoracic joint.

Phys Med Rehabil Clin N Am. 2000 Nov;11(4):755-70. [Abstract]

5. Lewis J, Green A, Reichard Z, Wright C.

Scapular position: the validity of skin surface palpation.

Man Ther. 2002 Feb;7(1):26-30.

6. Lukasiewicz AC, McClure P, Michener L, Pratt N, Sennett B.

Comparison of 3-dimensional scapular position and orientation between subjects with and without shoulder impingement.

J Orthop Sports Phys Ther. 1999 Oct;29(10):574-83; discussion 584-6.

[Abstract]

7. Kibler WB, McMullen J.

Scapular dyskinesis and its relation to shoulder pain.

J Am Acad Orthop Surg. 2003 Mar-Apr;11(2):142-51. [Abstract]

8. McClure PW, Michener LA, Karduna AR.

Shoulder function and 3-dimensional scapular kinematics in people with and without shoulder impingement syndrome.

Phys Ther. 2006 Aug;86(8):1075-90.

9. McClure PW, Michener LA, Sennett BJ, Karduna AR.

Direct 3-dimensional measurement of scapular kinematics during dynamic movements in vivo.

J Shoulder Elbow Surg. 2001 May-Jun;10(3):269-77. [Abstract]

10. Michener LA, McClure PW, Karduna AR.

Anatomical and biomechanical mechanisms of subacromial impingement syndrome.

Clin Biomech 2003 Jun;18(5):369-79.

11. Mottram SL.

Dynamic stability of the scapula.

Man Ther. 1997 Aug;2(3):123-131

12. Roy JS, Moffet H, Hébert LJ, St-Vincent G, McFadyen BJ.

The reliability of three-dimensional scapular attitudes in healthy people and people with shoulder impingement syndrome.

BMC Musculoskelet Disord. 2007 Jun 21;8:49.

13. Sharman Shirley A.

Valutazione funzionale e trattamento delle sindromi da disfunzione del movimento, UTET, 2005, pag. 5, 197-201, 203-210, 225-231.

14. Terry GC, Chopp TM.

Functional Anatomy of the Shoulder.

J Athl Train. 2000 Jul;35(3):248-255.

15. Vermeulen HM, Stokdijk M, Eilers PH, Meskers CG, Rozing PM, Vliet Vlieland TP.

Measurement of three dimensional shoulder movement patterns with an electromagnetic tracking device in patients with a frozen shoulder.

Ann Rheum Dis. 2002 Feb;61(2):115-20.

16. Voight ML, Thomson BC.

The Role of the Scapula in the Rehabilitation of Shoulder Injuries.

J Athl Train. 2000 Jul;35(3):364-372.

17. von Eisenhart-Rothe R, Matsen FA 3rd, Eckstein F, Vogl T, Graichen H.

Pathomechanics in atraumatic shoulder instability: scapular positioning correlates with humeral head centering.

Clin Orthop Relat Res. 2005 Apr;(433):82-9.

18. Watson L, Balster SM, Finch C, Dalziel R.

Measurement of scapula upward rotation: a reliable clinical procedure.

Br J Sports Med. 2005 Sep;39(9):599-603