

## Arto Superiore:

### Analisi Biomeccanica delle Dominanze Vettoriali

dott. Mauro Lastrico – dott.ssa Laura Manni

#### Introduzione

La regione della "spalla" rappresenta una delle zone più complesse dell'intero sistema muscolo-scheletrico.

Questa complessità deriva dalla molteplicità delle articolazioni e delle relazioni che concorrono simultaneamente alla funzione e alle problematiche di questo distretto.

Il complesso della spalla coinvolge sei diverse relazioni articolari che operano in modo integrato:

- Relazione scapolo-ioidea
- Relazione scapolo-vertebrale
- Articolazione scapolo-costale (di natura muscolare)
- Articolazione scapolo-omeroale
- Articolazione sterno-claveare
- Articolazione scapolo-claveare

Ogni alterazione dell'equilibrio muscolare in una di queste relazioni può coinvolgere simultaneamente anche le altre, determinando quadri clinici complessi.

L'analisi di questo distretto richiede pertanto di valutare quale combinazione di relazioni articolari sia interessata nel quadro specifico, identificando quali forze muscolari, attraverso i loro accorciamenti selettivi, determinino la configurazione scheletrica responsabile del sintomo o del conflitto presente.

## 1 Rapporto scapolo-costo-vertebro-ioideo

### 1.1 Posizionamento fisiologico e dominanze muscolari

La scapola è "appoggiata" sulla gabbia toracica e in condizioni fisiologiche posizionata al lato del torace, con il margine mediale in linea con il processo spinoso di D5.

In senso cranio-caudale, è mantenuta dall'azione antagonista tra i muscoli che la elevano e quelli che la deprimono.

Nei capitoli precedenti è stata analizzata la posizione della scapola rispetto al torace, individuando come, nei rari casi in cui è presente il quadro "A" puro del gran dorsale, la scapola si presenti addotta e discendente.

La conferma scheletrica che si tratti di una scapola discendente è fornita dalla clavicola che, anziché avere andamento orizzontale, si presenta anch'essa discendente, con l'articolazione acromion-claveare al di sotto della sterno-claveare.

In tutti gli altri casi la dominanza è in adduzione ed elevazione della scapola.

**L'elemento comune sempre presente è l'adduzione della scapola.**

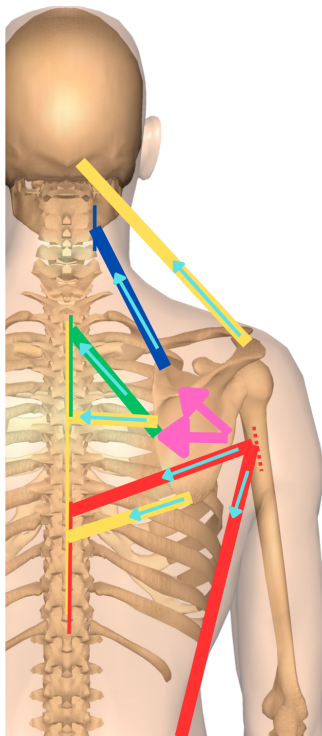
Al di fuori di specifiche patologie legate a malformazioni scheletriche congenite o acquisite, le scapole sono sempre addotte, con conseguente diminuzione della cifosi fisiologica ad apice D5.

## 1.2 Analisi vettoriale del posizionamento scapolare

L'analisi delle forze agenti sulla scapola rivela una netta asimmetria nelle dominanze muscolari:

Quadro riassuntivo del posizionamento verticale della scapola:

|             | SCAPOLA   |
|-------------|---|
| Adduzione   | Fasci superiori trapezio<br>Elevatori della scapola<br>Romboidi<br>Fasci medi trapezio<br>Fasci inferiori trapezio<br>Porzioni vertebro-omerali gran dorsali  |
| Abduzione   | Il gran dentato, unico abduttore della scapola con l'arto superiore lungo il corpo, avendo una linea di forza totalmente sottodominante, non può bilanciare la somma dell'azione degli adduttori                                  |
| Elevazione  | Fasci superiori trapezio<br>Elevatori della scapola<br>Romboidi<br>Porzioni vertebro-omerali gran dorsali che, quando la scapola è in elevazione, contribuisce a fissarla in elevazione e adduzione (quadro "B" del gran dorsale) |
| Depressione | Linea di forza da omero a cresta iliaca dei gran dorsali (quadro "A")<br>Fasci inferiori del trapezio   |



*Figura 01: Analisi vettoriale del posizionamento scapolare*

- *Giallo: trapezio (fasci superiori, medi, inferiori)*
- *Blu: elevatore della scapola*
- *Verde: romboidi*
- *Rosso: gran dorsale*
- *Frecce azzurre: linee di forza*
- *Frecce viola: risultanti complessive*

*Come mostrato in figura, la linea di forza complessiva è in adduzione ed elevazione della scapola. Potrà essere in adduzione ed abbassamento della scapola solo per un'importante retrazione dei fasci del gran dorsale*

### 1.3 Proiezione anteriore della scapola

#### Chiarimento terminologico

In questo testo si utilizza il termine "proiezione anteriore" o "anteriorizzazione" invece del tradizionale "anteposizione di spalla".

Questa scelta terminologica non è arbitraria ma deriva da una precisa necessità di chiarezza biomeccanica.

Nel linguaggio comune si è consolidato un equivoco che associa l'anteposizione della spalla all'abduzione scapolare.

L'analisi vettoriale dimostra invece che la scapola si sposta anteriormente in associazione con l'adduzione.

Utilizzare "proiezione anteriore" chiarisce che stiamo descrivendo uno spostamento anteriore della scapola che avviene mantenendo o aumentando l'adduzione.

#### I meccanismi della proiezione anteriore

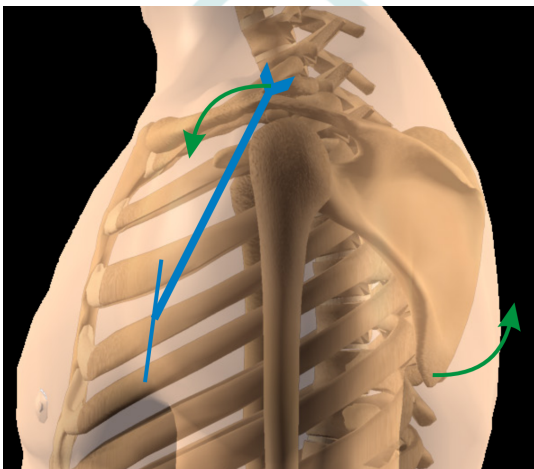
Parallelamente all'adduzione, la scapola può essere anteriorizzata per l'azione di due muscoli specifici:

### **Azione del piccolo pettorale**

L'interessamento del piccolo pettorale determina l'anteriorizzazione della spalla per avvicinamento del processo coracoideo della scapola alle coste.

Come conseguenza, in stazione eretta, l'angolo inferiore della scapola risulta sporgente.

L'anteriorizzazione determinata dal piccolo pettorale si verifica in associazione con l'adduzione scapolare, non in sostituzione di essa.



*Figura 02*

*L'interessamento del piccolo pettorale (blu) determina l'anteriorizzazione della spalla per avvicinamento della coracoide della scapola alle coste.*

*Come conseguenza, l'angolo inferiore della scapola risulterà sporgente (frecce verdi).*

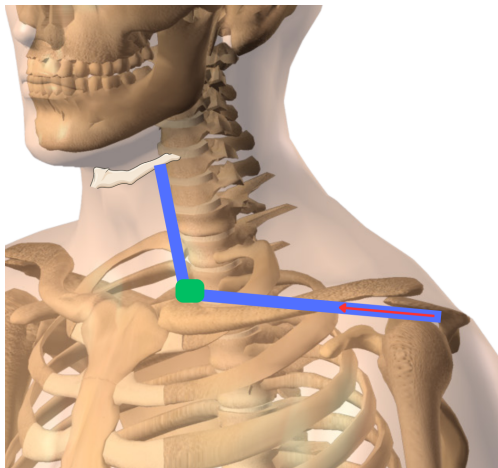
### **Azione dell'omoioideo**

L'omoioideo presenta una struttura particolare, come avesse una seconda inserzione di tessuto connettivo inframezzata alle fibre muscolari.

La porzione di omoioideo compresa tra scapola e tessuto connettivo proietta in avanti la scapola.

Anche l'anteriorizzazione da omoioideo si associa all'adduzione scapolare, determinando una configurazione in cui la scapola risulta sia avvicinata alla colonna vertebrale che spostata anteriormente.





*Figura 03*

*L'omoioideo (blu) è come avesse una seconda inserzione di tessuto connettivo (verde) inframezzata alle fibre muscolari.*

*La porzione di omoioideo compresa tra scapola e tessuto connettivo, porta in avanti la scapola*

## 2 Rapporto scapolo-omeroale

### 2.1 Controllo muscolare del posizionamento omerale

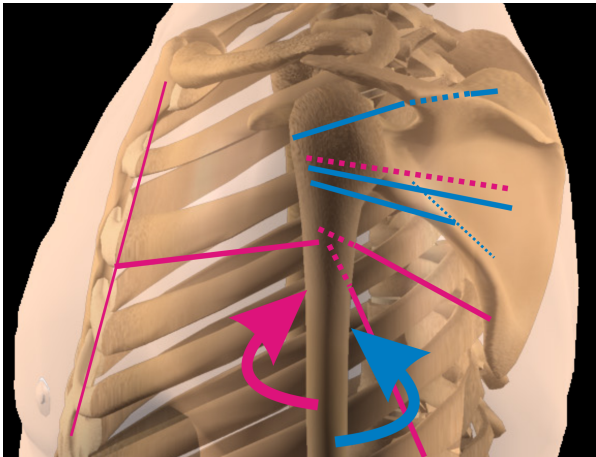
La posizione all'interno della cavità glenoidea e i movimenti dell'omero sono sotto il controllo dei muscoli scapolo-omeroali, dei brachio-scapolari, dei costo-brachiali e del gran dorsale.

Questi muscoli sono asimmetricamente distribuiti, hanno potenziale vettoriale diverso, e ciò dà luogo a delle dominanze.

### 2.2 Intrarotazione ed extrarotazione omerale - proiezione anteriore

L'analisi delle forze rotatorie sull'omero rivela una netta asimmetria:

| AZIONE                 | MUSCOLI AGENTI  | DOMINANZA VETTORIALE   |
|------------------------|---|------------------------|
| Intrarotazione omerale | <ul style="list-style-type: none"> <li>• gran dorsale</li> <li>• gran pettorale</li> <li>• sottoscapolare</li> <li>• gran rotondo</li> <li>• porzione clavicolare deltoide</li> </ul> | Intrarotazione omerale |
| Extrarotazione omerale | <ul style="list-style-type: none"> <li>• sovraspinato</li> <li>• infraspinato</li> <li>• piccolo rotondo</li> <li>• parte spinale deltoide</li> </ul>                                 |                        |



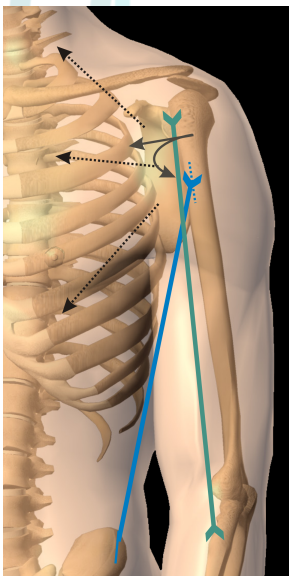
*Figura 04: Dominanze rotatorie*

- *In magenta gli intrarotatori omerali: gran dorsale, gran pettorale, sottoscapolare, gran rotondo*
- *In blu gli extrarotatori: sovraspinato, infraspinato, piccolo rotondo*
- *La dominanza vettoriale è totalmente a favore degli intrarotatori*

## 2.3 Il meccanismo del conflitto scapolo-omerale

Se oltre agli intrarotatori omerali (che ruotando portano in avanti la testa omerale) prendiamo in considerazione il bicipite brachiale, ne deriva una dominanza complessiva in intrarotazione e proiezione anteriore della testa dell'omero nella glenoide.

Questo meccanismo di avvicinamento della testa omerale al limite anteriore della glenoide è accelerato dalla concomitante adduzione scapolare, aprendo la strada a un possibile conflitto scapolo-omerale.



*Figura 05 Meccanismo del conflitto anteriore*

- *Per semplicità grafica si rappresenta una sola linea di forza del gran dorsale a rappresentare tutti gli intrarotatori omerali (blu) ed il bicipite*
- *Complessivamente la testa dell'omero intraruota e viene proiettata anteriormente all'interno della cavità glenoidea (frecche nere)*
- *Allo stesso tempo gli adduttori scapolari (frecche nere tratteggiate) avvicinano la scapola alla colonna vertebrale*

*Si determina così un movimento opposto (scapola indietro e testa omerale in avanti) che accelera il potenziale*

## 2.4 Proiezione superiore e inferiore della testa omerale

Oltre che in avanti e in intrarotazione, rispetto alla glenoide, la testa dell'omero può muoversi verso il conflitto superiore o inferiore.

L'esperienza clinica e le radiografie ci dicono quale quadro sia più frequente

| AZIONE sulla testa omerale rispetto alla glenoide | MUSCOLI AGENTI  | DOMINANZA VETTORIALE |
|---|---|----------------------|
| Proiezione superiore                              | <p>Bicipite</p> <p>Fasci vertebro-omerale del quadro "B" del gran dorsale. Nel quadro "B" il moncone della spalla è elevato dai muscoli cranio-cervico-scapolari a cui si associano le fibre più orizzontali del gran dorsale. Il gran dorsale si inserisce sull'omero e concorre all'elevazione del moncone della spalla, innalzando la testa dell'omero in direzione della porzione superiore della glenoide.</p> <p>Deltoide</p> | Molto più frequente  |
| Proiezione inferiore                              | Linea di forza cresta iliaca – omero del gran dorsale (quadro "A")  | Raro                 |

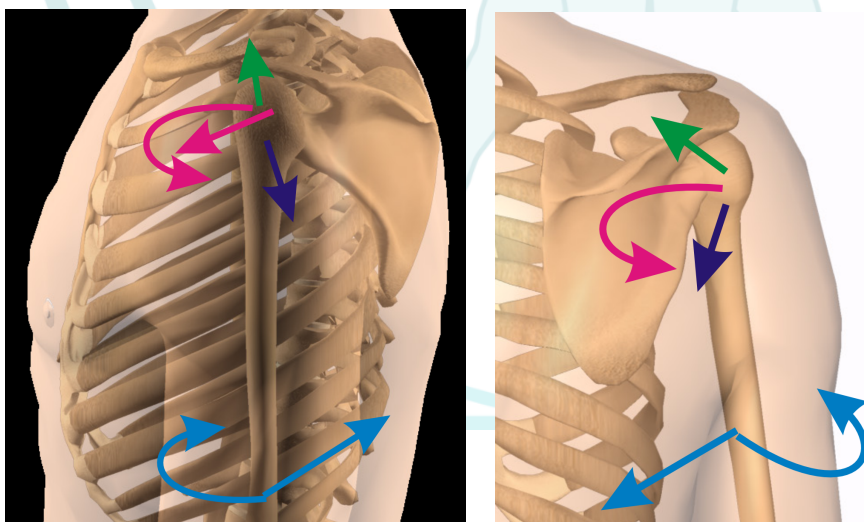


Figura 06 e 07: Risultanti complessive dei muscoli agenti sull'omero (Non sono considerate le azioni sul gomito)

*Porzione prossimale: proiezione anteriore e intrarotazione della testa dell'omero rispetto alla cavità glenoidea: frecce magenta; elevazione della testa dell'omero rispetto alla cavità glenoidea: freccia verde; depressione della testa dell'omero rispetto alla cavità glenoidea: freccia blu scuro*

*Porzione distale: intrarotazione, flessione posteriore, adduzione: frecce blu*

## 2.5 Comprensione delle problematiche di spalla

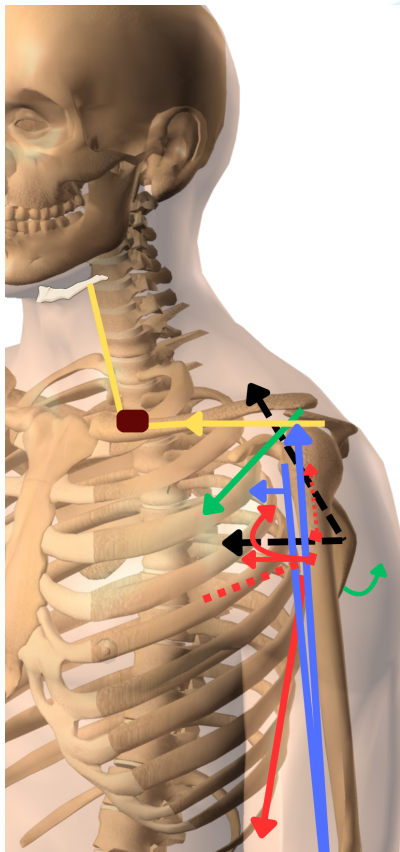
L'analisi delle forze agenti chiarisce le difficoltà incontrate nell'inquadrare le problematiche di "spalla", soprattutto quelle non collegabili ad eventi traumatici.

## 2.6 Sintesi dei quadri concomitanti

I dati concomitanti nelle problematiche di spalla:

| Alterazione scheletrica  | Accorciamento porzioni connettivali di:  | quadro scheletrico potenzialmente associato   |
|--|--|---|
| Scapola addotta ed elevata   | Fascio superiore trapezio ><br>Elevatore della scapola ><br>Fasci medi trapezio ><br>Romboidi ><br>Fasci inferiori trapezio (adduce ma non eleva) ><br>Gran dorsale quadro "B" > | Clavicola ascendente<br>Convessità vertebre C1-C4<br>Compressione e convessità vertebre C6-D4<br>Convessità vertebre D4-D12<br><br>Convessità vertebre D7- D12, elevazione emi-bacino |
| Scapola anteriorizzata (in adduzione). La scapola è addotta ma viene "tuffata" in avanti       | Omoioideo ><br><br>Piccolo pettorale ><br><br>Bicipite (capo lungo)  | Problematiche varie legate alla funzione di relè dell'osso ioide<br><br>Convessità prime coste (da supini) e sporgenza angolo inferiore della scapola ( in stazione eretta )          |
| Testa dell'omero (all'interno della cavità glenoidea) intra-ruotata, anteriorizzata e risalita | Gran dorsale ><br>Sottoscapolare e gran rotondo<br>Bicipite  | Quadro "B" del gran dorsale   |

|  |   |   |
|--|---|---|
|  | Deltoide (appoggia e stabilizza ma non è mai la causa primaria)   |   |
| Testa dell'omero (all'interno della cavità glenoidea) intraruotata, anteriorizzata e discendente (caso raro) | Porzione da cresta iliaca > a omero del gran dorsale (quadro "A") | Emi-bacino elevato, concavità vertebre D7 – D12 |



*fig. 08 La complessità delle forze agenti sulla spalla:*

*frecce nere tratteggiate: linee di forza dei muscoli che elevano ed adducono la scapola*

- omoioideo: giallo
- piccolo pettorale: verde
- bicipite: blu
- gran dorsale: rosso

### 3 Le sublussazioni

#### 3.1 Problematiche aggiuntive del complesso della spalla

Ulteriori difficoltà possono essere indotte dall'eventuale presenza di sublussazione dell'articolazione sterno-claveare e della testa dell'omero

Le sublussazioni possono essere causa di sintomatologie di spalla, non solo un reperto associato.

#### 3.2 Sub-lussazione della testa dell'omero

La sub-lussazione della testa dell'omero è determinata dall'accorciamento selettivo di sottoscapolare e gran rotondo.



Il loro accorciamento può anche essere causa di sub-lussazione dell'articolazione sterno-claveare, con un effetto a cascata.

In questo caso la sub-lussazione della sterno-claveare è determinata, come effetto finale, dallo "sgranamento" della fascia orizzontale che passa per il manubrio dello sterno. Tale "sgranamento" può essere sostenuto proprio dalla problematica di sottoscapolare e gran rotondo.

### 3.3 Sub-lussazione dell'articolazione sterno-claveare

La sub-lussazione della sterno-claveare può anche essere indotta da accorciamento dello sternocleidomastoideo.

### 3.4 Test di valutazione

#### Test per sub-lussazione dell'omero

La sub-lussazione dell'omero si rileva portando l'arto superiore in abduzione in modo da mettere in tensione i due muscoli.

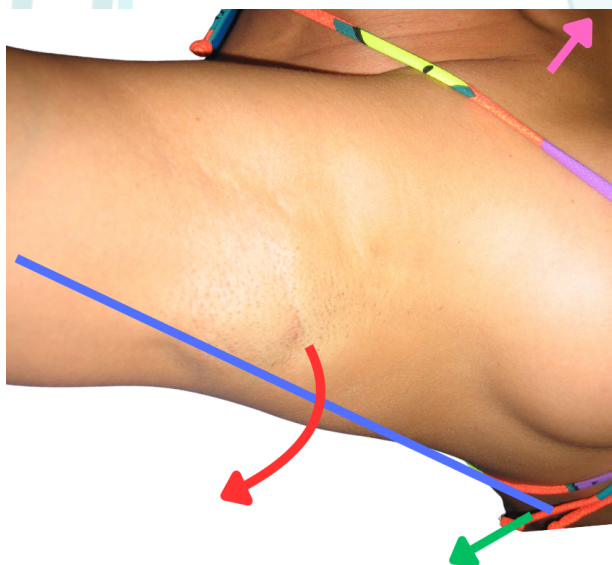


Figura 09 Test delle sub-lussazioni

- Sottoscapolare e gran rotondo (blu)
- Abducendo l'arto superiore si mette in evidenza l'effetto dell'accorciamento dei due muscoli sullo scheletro:
  - Sub-lussazione testa omerale (freccia rossa)
  - Sub-lussazione scapola (freccia verde)
  - Sub-lussazione sterno-claveare (freccia verde)

#### Metodologia del test

Il test viene effettuato attraverso il riposizionamento manuale di un singolo elemento:

- Correggendo la posizione della testa dell'omero si aggravano le sub-lussazioni di scapola e sterno-claveare (stessa cosa per ogni correzione selettiva)
- Contenendo 2 sub-lussazioni, la terza si aggraverebbe molto



Da ciò si comprende che la correzione deve avvenire in modo simultaneo su tutti e tre gli elementi correlati.

Anche nel caso fosse presente solo una delle sub-lussazioni quindi, il trattamento deve prevedere il contenimento di tutte e tre le sub-lussazioni potenziali, per evitare che problematiche non ancora presenti si slatentizzino.

### **Test per sub-lussazione dell'articolazione sterno-claveare**

Per la valutazione della presenza di sub-lussazione della sterno-claveare, il test si esegue esercitando una pressione sulla stessa.

Il "gioco" articolare fisiologico dovrebbe essere di pochi millimetri.

La sub-lussazione della sterno-claveare può anche essere svincolata dalle problematiche di sottoscapolare e gran rotondo ed essere determinata dall'accorciamento dello sternocleidomastoideo.

Per la valutazione è sufficiente ruotare o inclinare il cranio mettendo in allungamento passivo lo sternocleidomastoideo: se corto, la sub-lussazione si aggraverà.

### **3.5 Implicazioni**

La valutazione delle sub-lussazioni è un elemento importante.

Se presenti, il sistema extrapiramidale (attraverso meccanismi che saranno descritti nella macro sezione della valutazione sistemica) si attiva per la loro protezione, a costo di squilibrare regioni scheletriche anche lontane, dove potrebbero manifestarsi i sintomi.

### **4.1 Flessione del gomito**

Data la totale dominanza della somma dei flessori rispetto al tricipite brachiale è il quadro più comune.

Si pensi alle difficoltà di un dopo gesso per l'immobilizzazione di una frattura, dove la forza resistente dei flessori è tale da opporsi all'estensione del gomito sia attiva che passiva.

Nota sull'inversione di azione: i flessori del gomito si comportano da flessori solo quando la mano è punto mobile.

Se la mano è punto fisso, come per un esercizio ginnico di flessione al suolo, i flessori invertono la loro azione e divengono estensori.

Il tricipite brachiale partecipa all'azione anche se non ne è lui il motore principale.

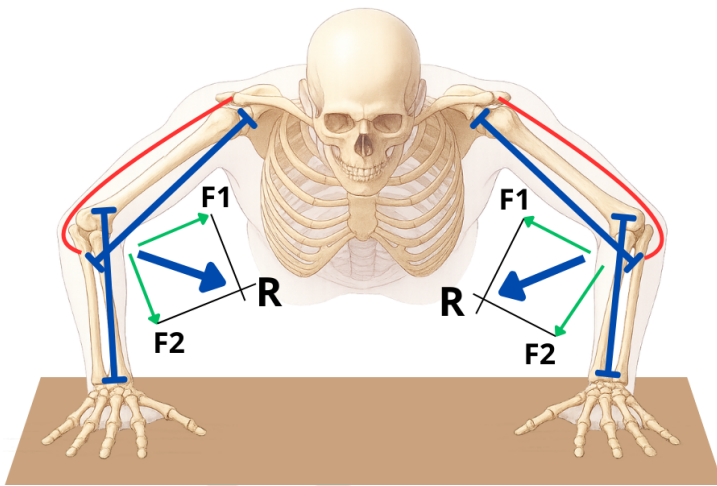


Figura 10: Inversione di azione dei flessori

- *Flessori gomito arto superiore: blu*
- *Tricipite brachiale: rosso*
- *Con la mano come punto fisso, i flessori del gomito con inserzione sul braccio portano radio ed ulna (freccia verde F1) in direzione della spalla*
- *I flessori del gomito con inserzione sull'avambraccio (freccia verde F2) portano l'omero in direzione mediale*
- *La risultante R delle due azioni è l'estensione del gomito al quale il tricipite partecipa in modo secondario*

## 4.2 Iper-estensione del gomito

A meno che non sia legata a lassità legamentosa (cioè a una grave malattia sistemica del collagene che coinvolge tutte le articolazioni), l'iperestensione è dovuta alla concatenazione esistente tra adduttori della scapola e muscoli anteriori dell'arto superiore (i flessori del gomito).

Per la valutazione differenziale è sufficiente, in posizione supina, portare passivamente l'arto superiore in elevazione.

Ciò determina l'abduzione meccanica della scapola e il conseguente "allungamento" degli adduttori.

Se il gomito si flette è il segnale che l'allungamento degli adduttori scapolari viene tradotto in accorciamento dei flessori.

## 4.3 Deviazioni del Gomito

**Valgo:** è determinato dall'accorciamento dei muscoli brachio-radiali (supinatori dell'avambraccio).

**Varo:** è determinato dai muscoli opposti a quelli valgizzanti, cioè dai pronatori.

Poiché è molto raro osservare i pronatori dominare sui supinatori, il quadro più frequente è rappresentato dalla tendenza al valgismo, con avambraccio in semi-pronazione.

## 5 Il polso

### 9.5.1 Deviazione ulnare del polso

E' il prodotto dell'accorciamento dei flessori dorsali e palmari della mano che hanno in comune la deviazione ulnare dominante su quella radiale.

## 6 La mano

Per quanto riguarda la mano, la dominanza vettoriale è in flessione.

## 7 Conclusioni

L'analisi biomeccanica dell'arto superiore rivela un sistema gerarchicamente organizzato, dove la complessità diminuisce progressivamente dal centro verso la periferia.

Il complesso della spalla, con le sue sei relazioni articolari interconnesse, rappresenta un chiaro esempio di come forze muscolari multiple possano determinare configurazioni scheletriche specifiche.

L'analisi vettoriale dimostra che le dominanze muscolari - adduzione scapolare, intrarotazione omerale, flessione delle articolazioni distali - non sono casuali, ma derivano da precise asimmetrie anatomiche nelle linee di forza.

Anche il meccanismo del conflitto scapolo-omero non è un evento casuale: esprime la conseguenza meccanica prevedibile di forze opposte (scapola in adduzione posteriore, omero in proiezione anteriore) che convergono secondo principi fisici misurabili.

Le sublussazioni, quando presenti, costituiscono ulteriori alterazioni meccaniche che il sistema deve compensare, spesso a distanza dal sito primario.

L'inversione di azione dei flessori del gomito quando la mano diventa punto fisso, dimostra come i principi vettoriali rimangano validi indipendentemente dal punto di applicazione delle forze, confermando come rispondano a leggi fisiche universali, non a modelli interpretativi arbitrari.

L'approccio terapeutico, infine, dovrà basarsi sulla comprensione di questi meccanismi. Si partirà dall'analisi delle dominanze vettoriali nel complesso della spalla, per poi analizzare come le tensioni si propaghino attraverso le catene muscolari verso le articolazioni distali, dove pattern più semplici e prevedibili facilitano l'identificazione delle cause primarie delle disfunzioni.

## 8 Concetti chiave

**Complessità del sistema spalla: sei relazioni articolari** Scapolo-ioidea, scapolo-vertebrale, scapolo-costale, scapolo-omeroale, sterno-claveare, scapolo-claveare. Ogni alterazione in una relazione coinvolge simultaneamente le altre.

**L'adduzione scapolare come condizione costante** Gli adduttori (trapezio, elevatori, romboidi, gran dorsale) dominano sul gran dentato (unico abductore). La scapola risulta sempre addotta con diminuzione della cifosi fisiologica D5.

**Anteriorizzazione scapolare: meccanismo aggiuntivo** Piccolo pettorale e omoioideo possono proiettare anteriormente la scapola. Questa anteriorizzazione si aggiunge all'adduzione senza sostituirla, rendendo sporgente l'angolo inferiore della scapola in stazione eretta.

**Dominanza degli intrarotatori omerali** Gran dorsale, gran pettorale, sottoscapolare, gran rotondo dominano su infraspinato e piccolo rotondo. Risultato: intrarotazione e proiezione anteriore della testa omerale.

**Meccanismo del conflitto scapolo-omeroale** Movimento opposto simultaneo: scapola in adduzione posteriore, testa omerale in proiezione anteriore. Questo accelera il potenziale conflitto anteriore tra scapola e omero.

**Squilibrio delle relazioni articolari come causa delle sintomatologie** Le problematiche di spalla derivano dallo squilibrio di una o più delle sei relazioni articolari, a cui possono aggiungersi le sublussazioni come ulteriore complicazione.

**Proiezione superiore della testa omerale più frequente** Determinata da bicipite, fasci orizzontali del gran dorsale quadro "B" e deltoide. La proiezione inferiore (quadro "A" del gran dorsale) è rara.

**Dominanze distali progressivamente più semplici** Gomito: dominanza flessori su tricipite. Polso: deviazione ulnare dominante. Mano: dominanza in flessione. La complessità diminuisce dalla spalla verso la periferia.