



Dott. Claudio Costa
Ing. Biomedico
Indirizzo Biomeccanico
Laureato al Politecnico di Torino

Analisi Biomeccanica e Ingegneria della Riabilitazione

Controllo Nervoso e Muscolare del Movimento

L'atto motorio deve essere considerato come l'espressione della interazione di tre sistemi funzionali.

✓ **Sistema Percettivo** :

dove si verifica la ricezione degli stimoli e delle sensazioni (vie sensitive, afferenti) .

✓ **Sistema Elaborativo** :

dove i segnali ricevuti sono sottoposti a programmazione (sistema nervoso centrale);

✓ **Sistema Effettore**:

che si occupa di inviare la risposta esecutiva e di realizzare il movimento (vie motrici, efferenti).

Apprendimento del Movimento

Anche il processo di apprendimento risulta composto da varie fasi e non è così semplice come può apparire.

✓ **Prima Fase:**

Il ruolo dell'allenatore è di fondamentale importanza perché deve riuscire a fornire informazioni chiare e precise per fare eseguire dei movimenti facili dopo averli dimostrati.

✓ **Seconda fase:**

Denominata della coordinazione fine, il movimento che precedentemente si riusciva solo ad eseguire, adesso viene automatizzato e ripetuto con disinvoltura anche in presenza di parametri sfavorevoli.

✓ **Terza fase:**

Durante la quale si esprime un elevato tasso tecnico esecutivo anche in presenza di enormi azioni di disturbo ed è il risultato di una razionale programmazione e di un lavoro metodico.

Biomeccanica

FISICA APPLICATA AI MOVIMENTI UMANI, in movimento e a riposo.

Lo studio completo della meccanica comprende due aree di base:

✓ **STATICA**: lo studio dei corpi a riposo o in equilibrio risultante da forze che agiscono su di esso.

✓ **DINAMICA**:

•(A) **CINEMATICA**

•(B) **CINETICA**

(A) Si occupa delle relazioni che esistono tra spostamenti, velocità ed accelerazioni nei movimenti di traslazione e rotazione

(B) Si interessa dei corpi in movimento e delle forze che intervengono a produrlo.

Alcune problematiche molto importanti per la **BIOMECCANICA**
Sono:

- A: anatomia
- B: crescita
- C: carichi esterni
- D: traumi
- E: ergonomia
- F: applicazioni cliniche
- G: equipaggiamento protettivo
- H: movimento del corpo

ANATOMIA

I principi biomeccanici sono alla base della funzione muscolo-Scheletrica.

I muscoli producono una forza che agisce attraverso il sistema scheletrico di leve per resistere alla gravità o creare movimento.

L'effetto della contrazione di un muscolo dipende anche da come si inserisce sull'osso. Quando due o più muscoli agiscono su un osso, il risultato dipende dalle forze combinate da ciascun muscolo.

I legamenti, la cartilagine ed altri tessuti molli intervengono nel controllo articolare e sono condizionati dalla posizione e dal movimento del corpo.

Le ossa costituiscono un sistema di leve su cui possono agire **MUSCOLI E TENDINI.**

B: le forze meccaniche possono avere un effetto importante sulla crescita del corpo. I tessuti rispondono alle forze in base al tipo di carico, alla sua durata ed alla sua direzione.

C: la resistenza offerta all'azione dell'apparato muscolo-scheletrico può derivare dalla forza di gravità, resistenza dell'acqua, elasticità dei materiali, attrito, strutture stazionarie o resistenza manuale. La gravità, il carico più comune sul corpo, ha una linea di forza in direzione costante. Nel determinare gli effetti della gravità sono importanti il peso, la posizione della resistenza e della parte del corpo.

D: le lesioni ossee sono condizionate da vari fattori biomeccanici: il tipo di carico, la sua grandezza, la sua velocità e le proprietà dei materiali del tessuto.

Per valutare con accuratezza una lesione traumatica è essenziale conoscere il meccanismo con cui si è verificata.

Per esempio, le fratture da stress, le fratture in flessione, compressione, le distorsioni e le contusioni sono tutte causate da forze.

E: È una disciplina che si occupa dei compiti, equipaggiamenti, mezzi ed attrezzature che sono compatibili con le caratteristiche anatomiche, fisiologiche, percettive, ambientali e biomeccaniche dell'uomo.

L'analisi meccanica del movimento e della postura durante il lavoro permette all'ergonomista di riconoscere le condizioni e le azioni nocive.

I fattori che condizionano la salute del lavoratore comprendono:

- la posizione del corpo del lavoratore
- la localizzazione degli oggetti che devono essere afferrati
- il peso degli oggetti e la forza che deve essere applicata agli attrezzi
- come la forza viene applicata-

F: la valutazione biomeccanica dell'equilibrio e del passo può fornire alcune risposte al ruolo dei sistemi sensitivi compresi quello propriocettivo, quello vestibolare e quello visivo.
Le misurazioni della postura e del movimento aiutano a determinare possibili disfunzioni neurologiche e suggeriscono interventi terapeutici: TRATTAMENTO

I PRINCIPI DELLA DINAMICA ED IL CONCETTO DI MASSA E DI FORZA

Le forze sono la causa del cambiamento nel moto dei corpi. In generale noi associamo all'azione di una forza la presenza di un altro corpo che l'ha generata. Se siamo ad esempio alla fermata di un autobus e ci sentiamo spingere in avanti, immediatamente ci voltiamo per capire da chi è arrivato lo spintone ed eventualmente protestare.

Le forze nascono da interazioni tra corpi

Questo però non è sempre vero!

Se infatti ci troviamo nell'autobus e ad una frenata dell'autista ci sentiamo spingere in avanti, non ci voltiamo alla ricerca del colpevole. In questo caso nessun altro passeggero ci ha spinto.

La forza non è nata da una interazione tra corpi ma dalla frenata dell'autista.

I° principio

II PRIMO PRINCIPIO DELLA DINAMICA

afferma che esiste una categoria di Sistemi di Riferimento, detti INERZIALI, nei quali le

forze nascono solo da interazioni tra corpi.

La fermata dell'autobus è allora un sistema inerziale,
l'autobus in frenata non lo è.

Nei sistemi di riferimento inerziali, dunque, c'è forza su un corpo solo se esso è vicino ad altri corpi con i quali interagire. Da questo segue che, in tali sistemi, un corpo che sia isolato non ha forze che agiscano su di esso (*accelerazione nulla*) e quindi si muove di moto rettilineo uniforme.

Nei sistemi non inerziali possono apparire le cosiddette forze fittizie, che non nascono da interazioni con altri corpi ma che sono frutto del solo sistema di riferimento scelto (per esempio l'autobus in accelerazione).

Conviene scegliere un sistema inerziale per la descrizione del moto di un corpo perché in questo caso è più semplice tener conto di tutte le forze che agiscono su di esso.

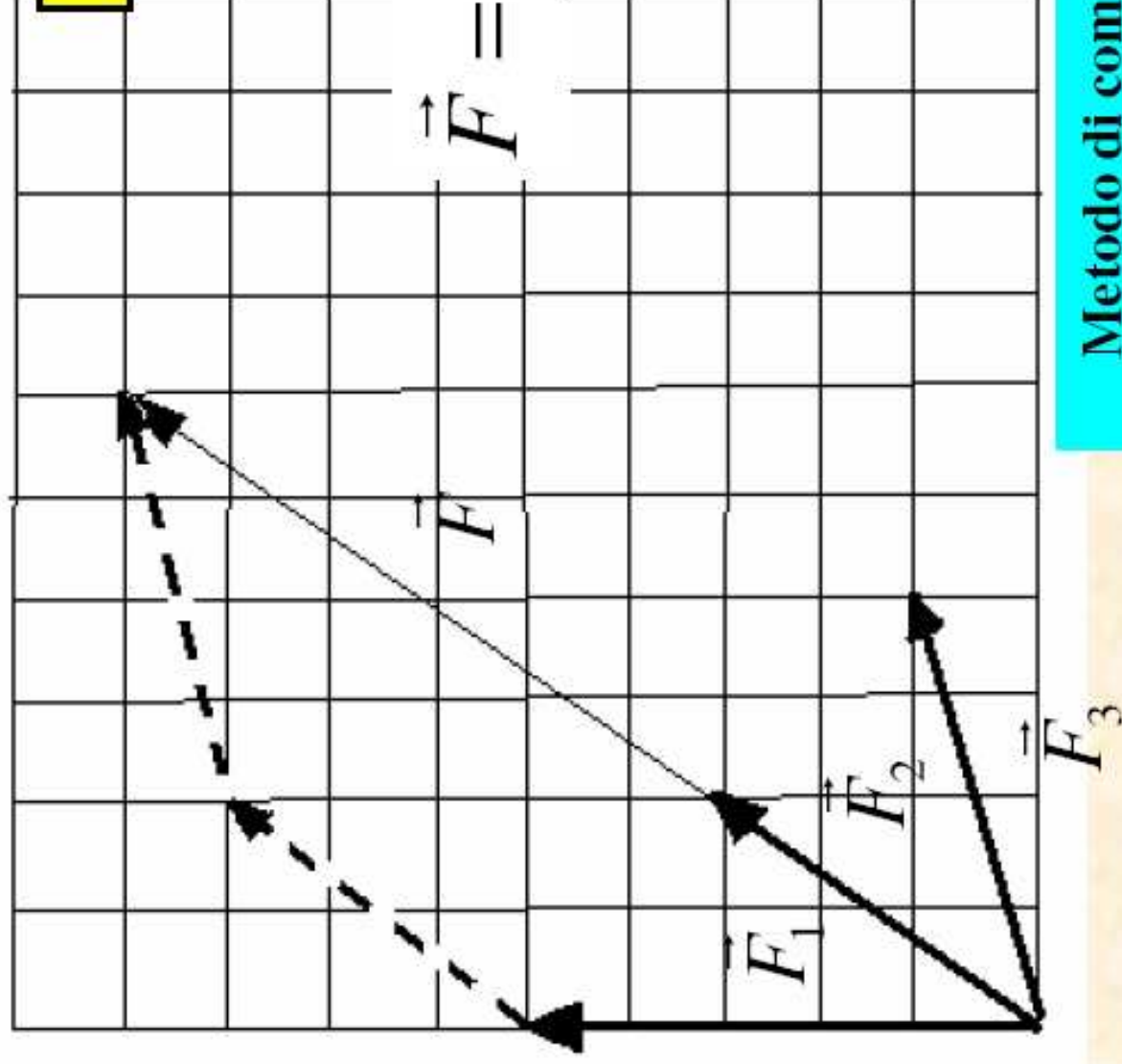
II° principio:

La risultante delle forze agenti su un corpo è direttamente proporzionale all'accelerazione dello stesso. Il coefficiente di proporzionalità è una quantità sempre positiva o nulla, detta massa (inerziale)

$$\vec{F} = m \vec{a}$$

$$\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \vec{F}_4 \dots$$

Risultante tra più forze

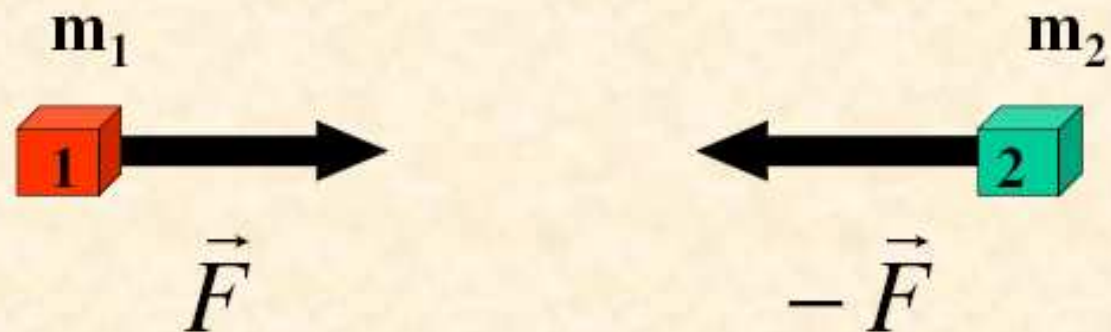


$$\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3$$

Metodo di composizione dei vettori o del parallelogramma

III^o principio:

Ad ogni azione corrisponde una reazione uguale e contraria



$$\vec{F} = m_1 \vec{a}_1$$

$$-\vec{F} = m_2 \vec{a}_2$$

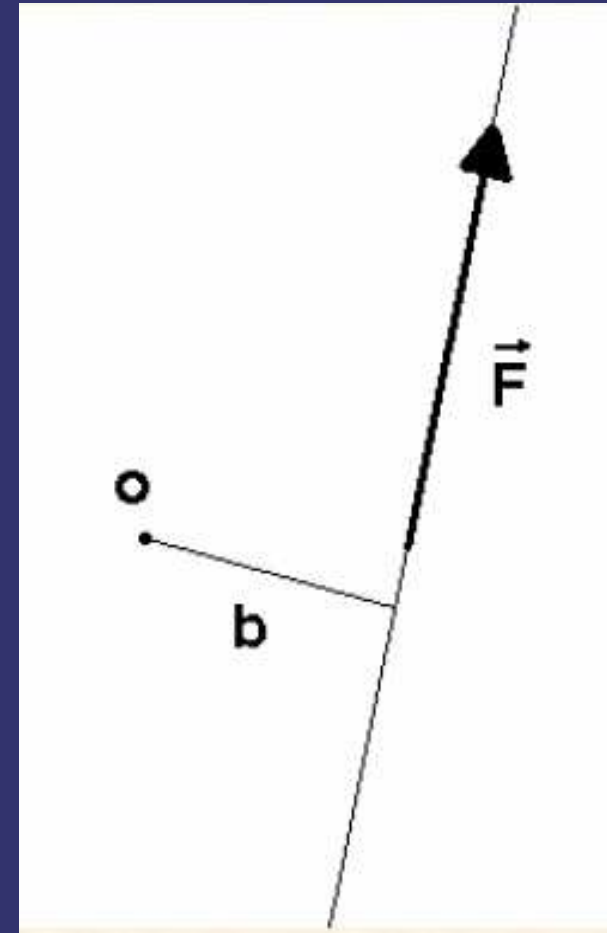


$$\frac{a_1}{a_2} = \frac{m_2}{m_1}$$

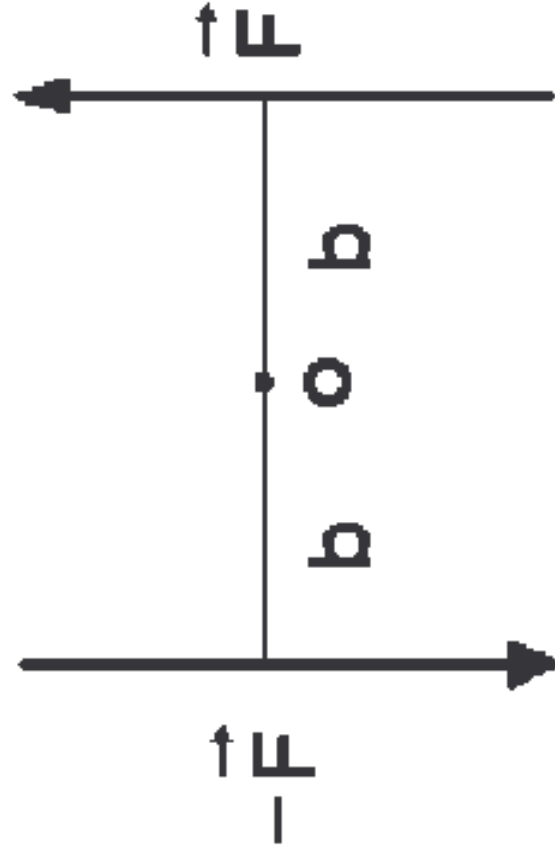
Momento di una forza

Il momento di una forza rispetto ad un **centro O** è un vettore, la cui direzione è perpendicolare al piano che contiene la forza ed il **braccio b** (direzione perp. al foglio). Il suo modulo è **$M=bF$** dove **b** (detto braccio) indica la distanza tra il punto **O** e la retta che contiene la forza **F**. Il verso è dato dalla regola della mano destra.

Il **momento M** rispetto al centro **O** è responsabile delle rotazioni intorno ad **O**. Se la retta passasse per **O** il momento **M** sarebbe nullo.



Coppia di forze



$$\bar{R} = \vec{F} + (-\vec{F}) = \vec{0}$$

$$M = bF + bF = 2bF$$

Forza per braccio

LEVE MECCANICHE: Leve del corpo umano

1) Definizione e proprietà delle leve meccaniche

Un corpo rigido di dimensioni finite è in equilibrio statico, rispetto ad un sistema fisico

di riferimento, se sono soddisfatte le seguenti due condizioni:

1) la risultante delle forze esterne che agiscono sul corpo deve essere nulla, cioè

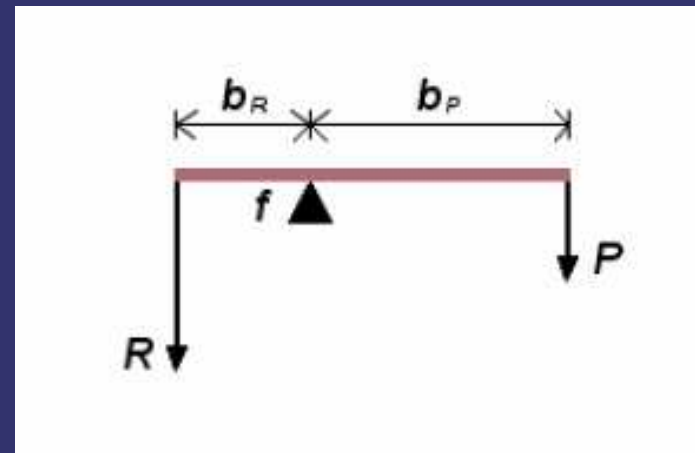
$$\underline{F_1 + F_2 + F_3 + \dots + F_i + \dots + F_n = \Sigma F_i = 0}$$

2) la risultante dei momenti delle forze esterne (calcolati rispetto ad un polo qualsiasi) deve essere nulla, cioè

$$\underline{M_1 + M_2 + M_3 + \dots + M_i + \dots + M_n = \Sigma M_i = 0}$$

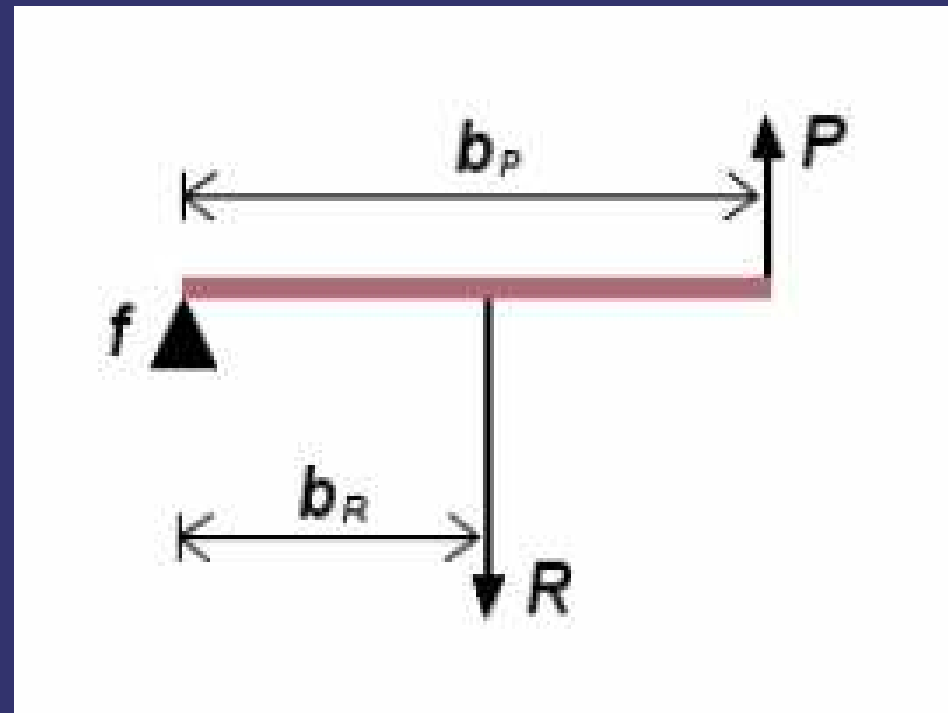
La prima condizione stabilisce l'equilibrio traslazionale, la seconda condizione stabilisce invece l'equilibrio rotazionale.

Una leva si dice **interfulcrata o di primo genere** se il suo fulcro giace tra la potenza e la resistenza (come accade per Fig.1 a). Essa può essere vantaggiosa ($b_P > b_R$), svantaggiosa ($b_P < b_R$) o indifferente ($b_P = b_R$).

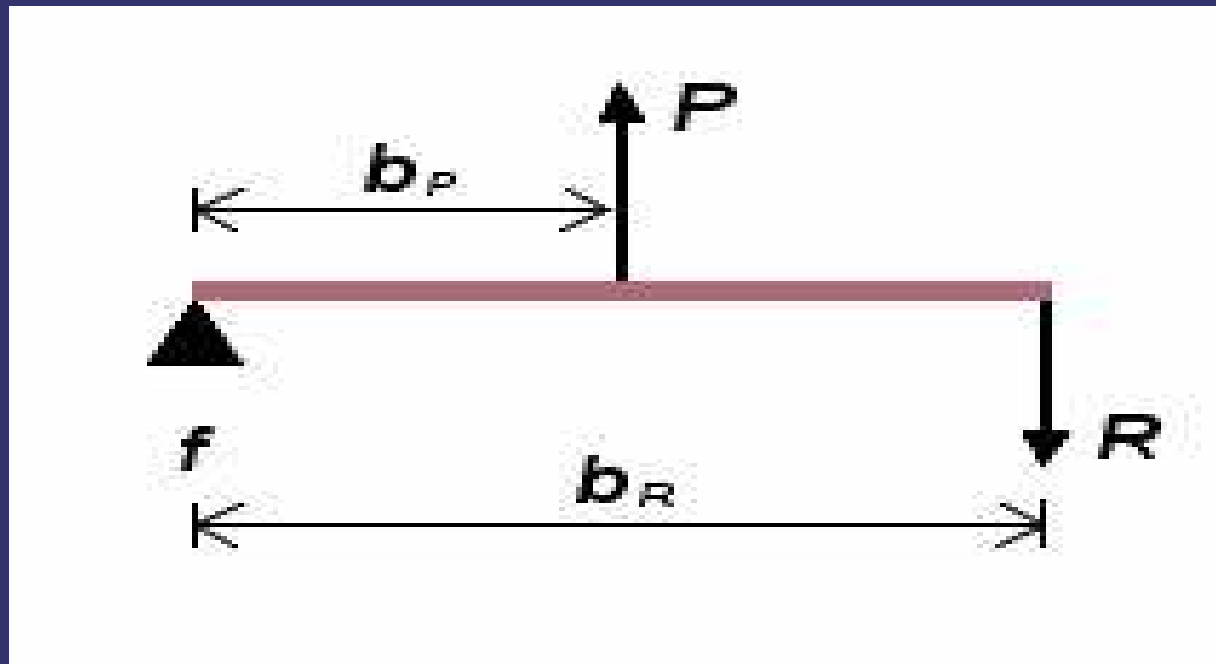


Una leva è detta **inter-resistente o di secondo genere** se la resistenza è tra il fulcro e la Potenza. Essa è sempre vantaggiosa ($b_P > b_R$)

Fig.1a



Una leva è detta infine **inter-potente o di terzo genere** se la potenza è tra il fulcro e la resistenza . Una leva di questo tipo è sempre svantaggiosa ($b_P < b_R$).



Esempi di leve di primo genere sono le pinze ,
le tenaglie, le forbici, il remo .

Un esempio di leva di secondo genere è lo
schiaccianoci. Un esempio di leva di terzo
genere è rappresentato dalle molle per
attizzare il fuoco.

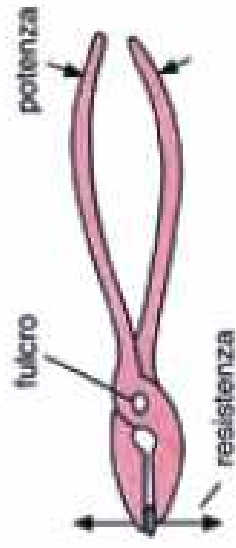


Fig.2

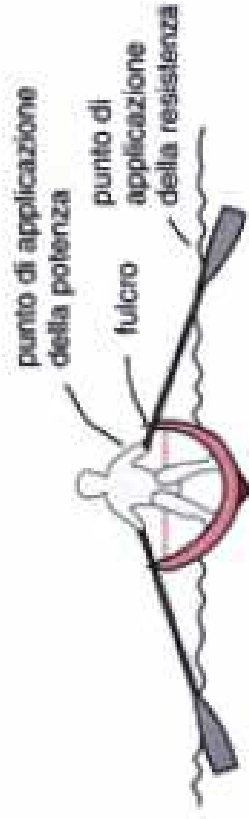


Fig.3

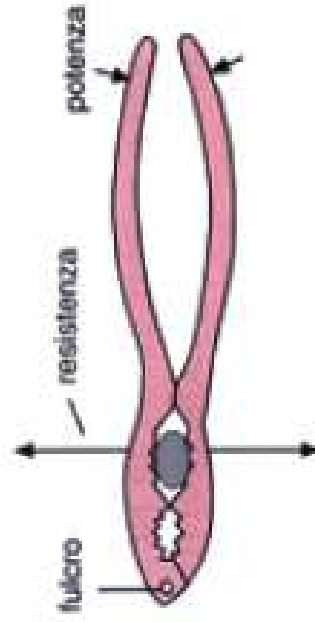


Fig.4

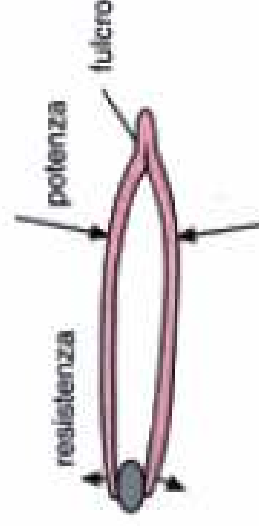


Fig.5

Le leve del corpo umano

Nel nostro corpo tutte le articolazioni, ossia le regioni di 'snodo' tra le parti fisse, realizzano delle leve: quando sono in condizioni di equilibrio consentono il blocco dell'articolazione, in caso contrario ne consentono il movimento.

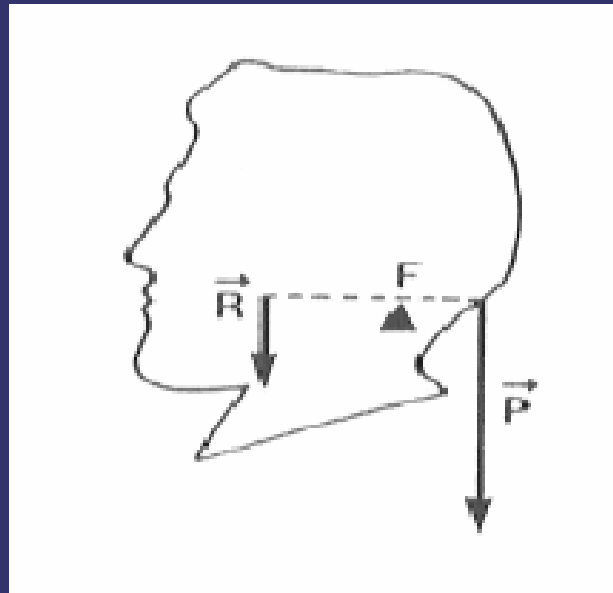
I MUSCOLI E LE LEVE

I muscoli scheletrici (che rappresentano l'elemento attivo del movimento), inserendosi sulle ossa (che rappresentano l'elemento passivo del movimento), per mezzo della contrazione muscolare determinano il movimento. Questo è possibile grazie anche alle articolazioni (che rappresentano l'elemento di congiunzione e perno delle ossa).

Tutto l'apparato locomotore è basato su un sistema di leve.

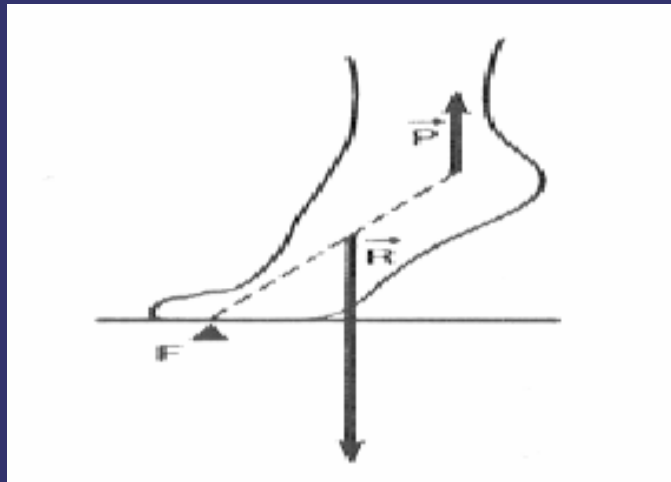
Questa situazione determina che, tutte le volte che c'è movimento, si produce una leva che può essere di primo, di secondo o di terzo tipo. Il fulcro della leva è dato dall'asse di rotazione (di solito l'articolazione, ma può anche essere un punto di appoggio o di presa); la potenza è data dal punto in cui viene applicata la forza (di solito l'origine o l'inserzione muscolare); la resistenza è data dal punto in cui viene generata la resistenza stessa (un peso, lo spostamento di un segmento corporeo, la gravità, ecc.).

Il caso dell'articolazione di appoggio della testa è un esempio di leva del primo tipo. Per bilanciare il peso del capo, applicato nel suo baricentro, ed evitare che la testa ciondoli in avanti, viene esercitata una **POTENZA** da parte dei muscoli nucali, che si trovano dall'altro lato rispetto al fulcro.

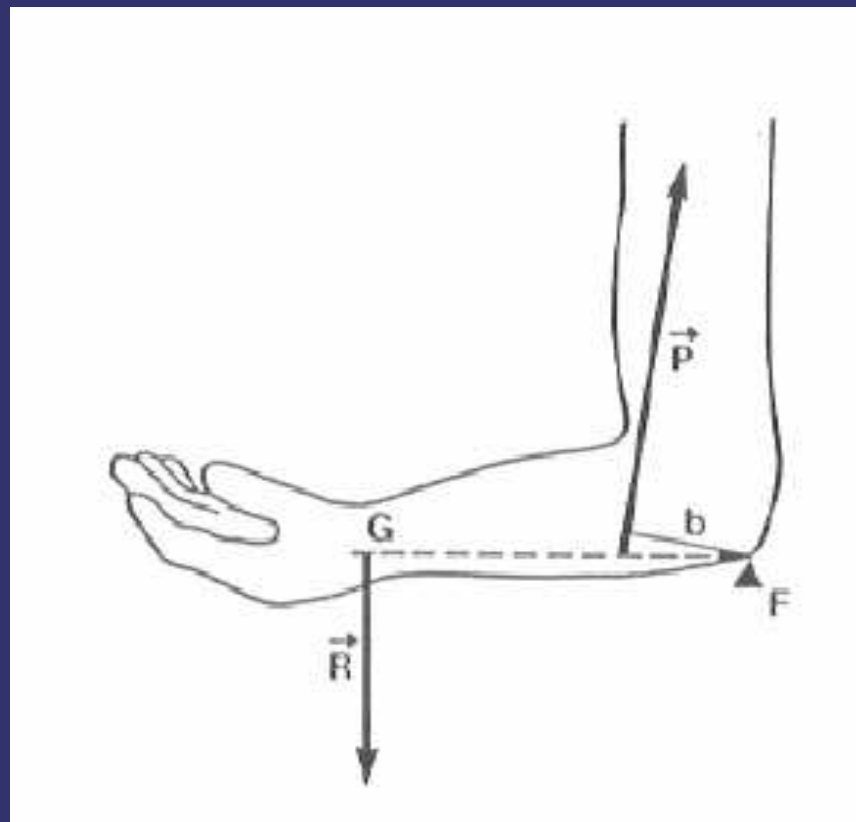


L'intensità della forza realizzata dal muscolo sarà tale da produrre un momento esattamente uguale a quello prodotto dalla *resistenza*. Si noti anche che l'insieme delle due forze tenderebbe a causare un abbassamento del sistema: il fulcro realizza anche una reazione vincolare che si oppone alla traslazione:
per questo dopo un certo tempo l'articolazione è affaticata!

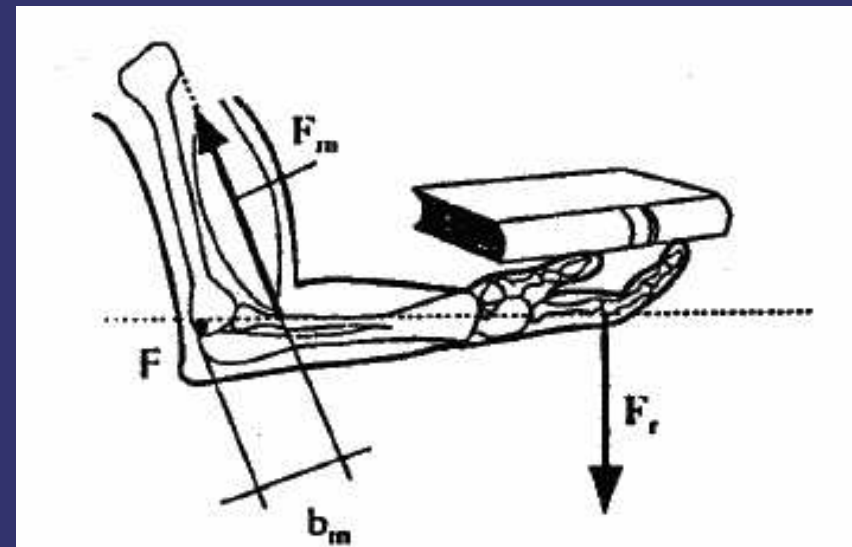
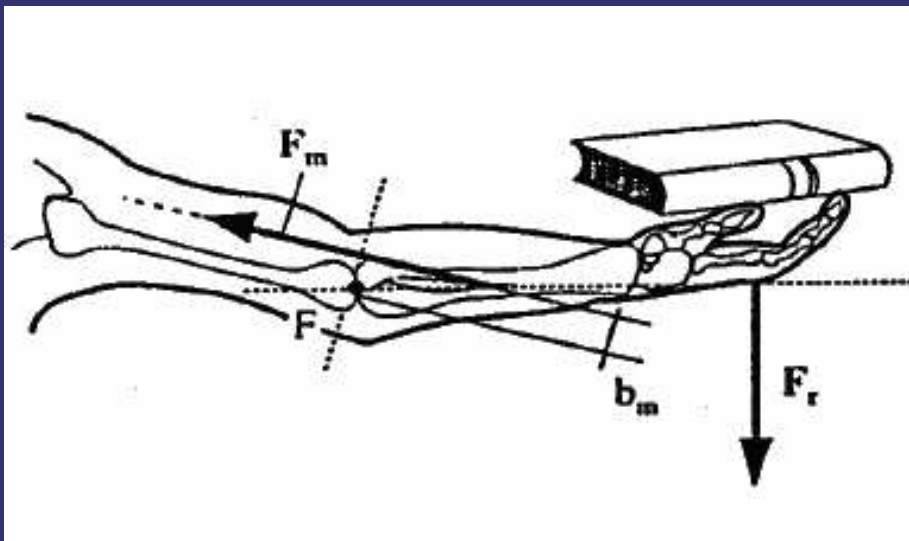
Un esempio di leva del II genere è costituita dal piede: qui **resistenza** (peso) e **potenza** (muscolo) si trovano dalla medesima parte rispetto al fulcro, e la potenza ne è più lontana (maggior braccio).



Un esempio di leva del **III genere**, infine, è costituita dall'avambraccio, dove la potenza (tensione muscolare del bicipite) è molto vicina al fulcro (gomito), mentre la resistenza (peso del braccio, più eventuale peso sostenuto dalla mano) è più distale.

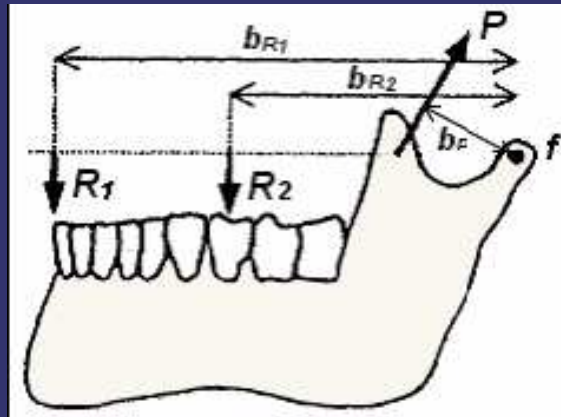


- L'articolazione del gomito col braccio disteso e' piu' svantaggiosa dell'articolazione del gomito col braccio raccolto vicino al tronco poiche' in questo caso si puo' aumentare il braccio della potenza (b_m) e diminuire quello della resistenza.

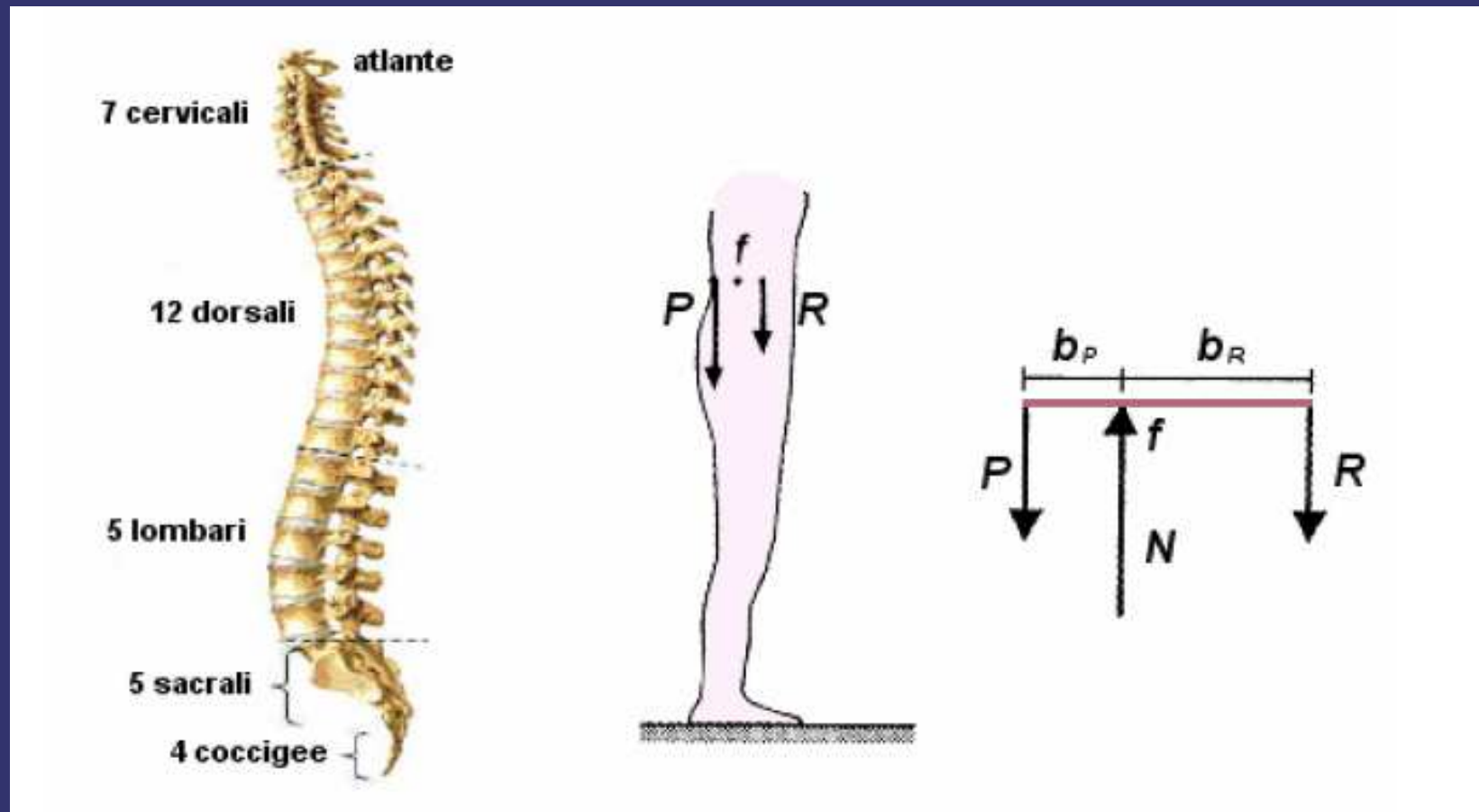


Mandibola

Un altro esempio di leva inter-potente è rappresentato dalla mandibola,



A parità di potenza e di braccio b_P , il guadagno di questa leva è maggiore in corrispondenza dei denti posteriori rispetto a quelli anteriori, essendo $R_1 < R_2$, cioè la forza esercitata in corrispondenza dei molari è maggiore rispetto a quella esercitata dagli incisivi e dai canini.



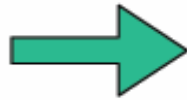
Si osservi infine che, in generale, negli spostamenti del corpo umano si combinano più leve (*sistemi di leve*), dello stesso tipo o di tipo diverso fra loro e talvolta accade che la resistenza in un primo stadio diviene la potenza nello stadio successivo di un dato movimento.

Lavoro di una forza ed energia cinetica

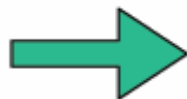
Consideriamo una forza F che, applicata ad un corpo, lo sposti di DS . Il lavoro L compiuto dalla forza è dato da

$$L = F \cdot DS \quad [L] = \text{N m} = \text{J (Joule)}$$

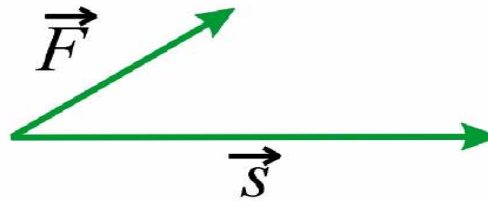
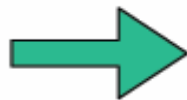
positivo



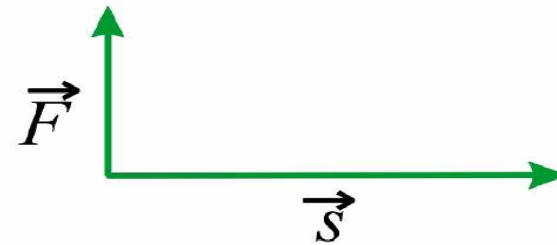
nullo



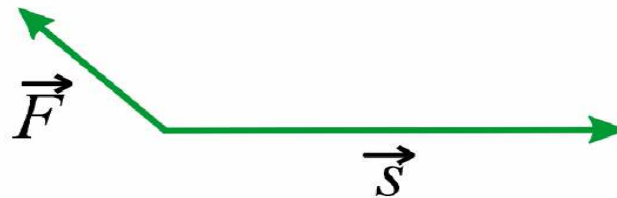
negativo



$$L > 0$$



$$L = 0$$



$$L < 0$$

Si consideri un corpo che abbia inizialmente velocità \vec{v}_i e sul quale agisca una forza per il tempo che occorre al corpo a percorrere $\Delta\vec{S}$. Sia \vec{v}_f la sua velocità finale.

$$L = \vec{F} \cdot \Delta\vec{S} = m \vec{a} \cdot \vec{v}_m \Delta t = m \frac{(\vec{v}_f - \vec{v}_i)}{\Delta t} \frac{(\vec{v}_f + \vec{v}_i)}{2} \Delta t$$

$$L = m \frac{|\vec{v}_f|^2}{2} - m \frac{|\vec{v}_i|^2}{2} \quad \text{Si noti che} \quad \vec{V} \cdot \vec{V} = |\vec{V}|^2$$

Il lavoro compiuto da una forza è pari alla variazione dell'energia cinetica. **TEOREMA DELLE FORZE VIVE.**

Energia cinetica

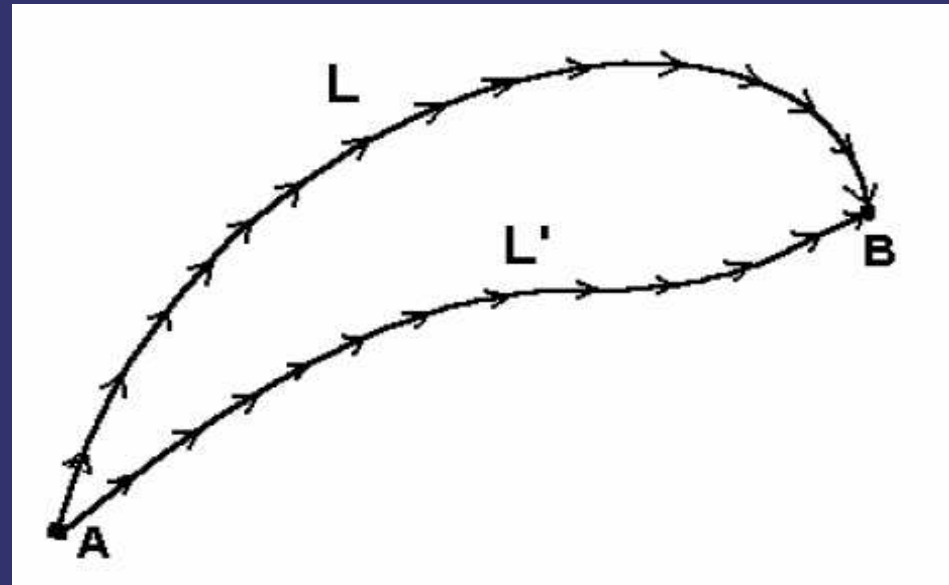
$$E_{cin} = m \frac{|\vec{v}|^2}{2} \quad [E_{cin}] = Nm = \text{Joule}$$

20

Mentre su un punto materiale agisce una forza \vec{F} il punto

Stesso può percorrere traiettorie molto complicate.

Il lavoro L dipende in generale da **A**, da **B** e dal percorso scelto per andare da **A** a **B**.



Per alcune forze, dette conservative, il lavoro dipende dai soli punti iniziali e finali, ovvero **A** e **B**, e non dal percorso scelto.

In questo caso scriveremo allora

$$L = m \frac{|\vec{v}_f|^2}{2} - m \frac{|\vec{v}_i|^2}{2} = - (E_{pot}^f - E_{pot}^i)$$

da cui ricaviamo che la seguente quantità, detta **Energia Meccanica**, somma di energia cinetica e di energia potenziale, è costante:

$$m \frac{|\vec{v}_i|^2}{2} + E_{pot}^i = m \frac{|\vec{v}_f|^2}{2} + E_{pot}^f$$

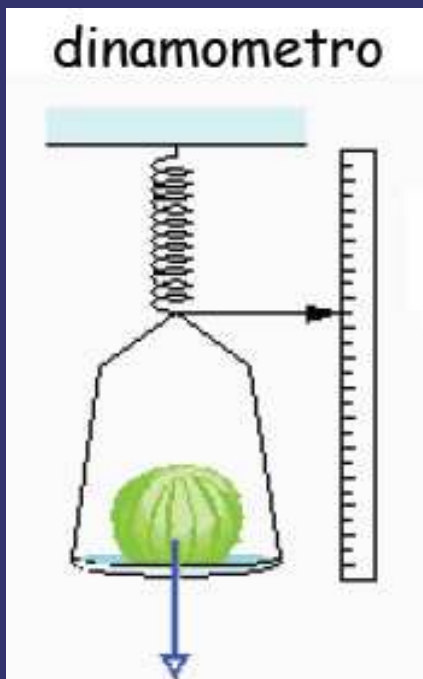
La somma di energia cinetica e potenziale è una costante del moto.

- FORZE ELASTICHE: LE MOLLE

Consideriamo una molla ideale di costante elastica k .
Queste molle esercitano forze elastiche del tipo

$$\vec{F} = -k\vec{x} \quad \left\{ [k] = Nm^{-1} \right\}$$

dove x è l'elongazione della molla ed il segno meno indica che la forza si oppone allo spostamento.

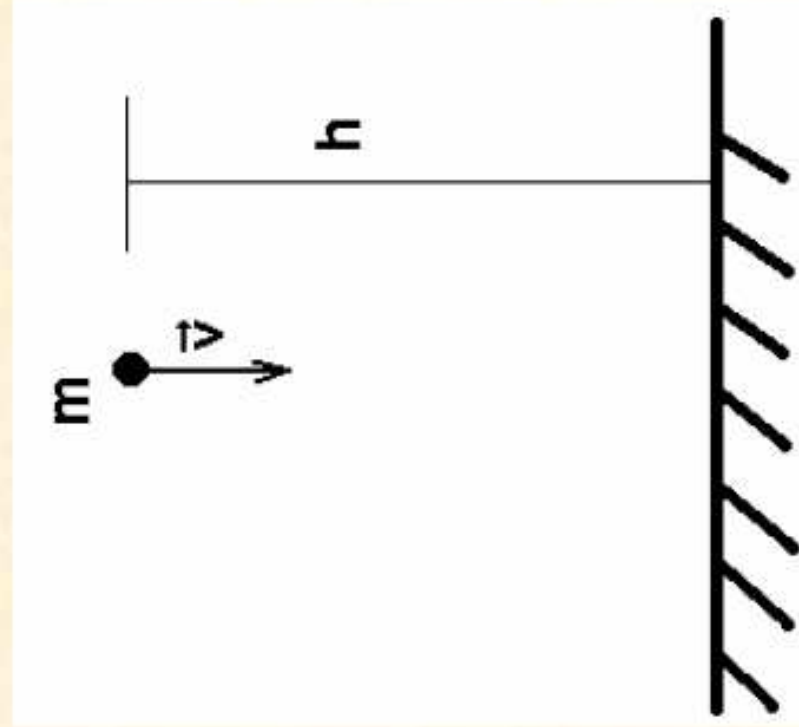


Poiché il dinamometro è in equilibrio deve valere, per il **I°** Principio della Dinamica

$$\vec{P} + \vec{F} = 0$$
$$mg - kx = 0 \quad \Rightarrow \quad x = \frac{mg}{k}$$

La forza gravitazionale

La forza di gravità $\vec{P} = m \vec{g}$ è una forza conservativa, con una energia potenziale pari a $E_{pot} = m g h$



$$\frac{m}{2} |\vec{v}|^2 + m g h = \text{cost}$$

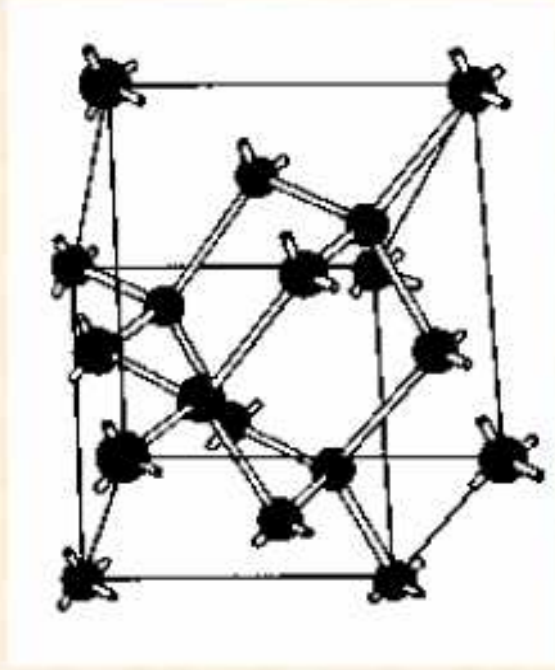
Se il corpo, inizialmente posto alla quota h , era in quiete, con che velocità raggiungerà il suolo?

$$m g h = \frac{m}{2} |\vec{v}_f|^2$$

$$|\vec{v}_f| = \sqrt{2 g h}$$

Stato di aggregazione della materia e proprietà elastiche

Le caratteristiche macroscopiche dei corpi sono la risultante della loro struttura microscopica.



La rigidità, la durezza, il punto di fusione, la tensione superficiale, etc. sono proprietà fisiche determinate dal livello di aggregazione dei costituenti elementari (atomi o molecole).

La risposta di un generico corpo a sollecitazioni esterne è una funzione della sua composizione e struttura interna.



GLI SFORZI

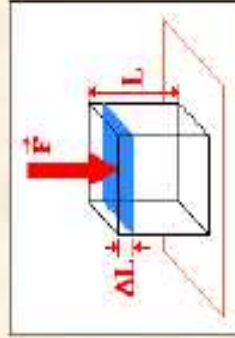
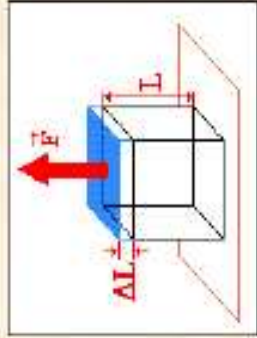
Un corpo solido può trovarsi in equilibrio statico pur essendo sottoposto a forze: in tal caso queste ultime tendono a deformarlo.

Il rapporto tra l'intensità F della forza applicata e l'area A del corpo sulla quale detta forza agisce uniformemente è chiamato sforzo.

Si hanno vari tipi di sforzi:

- di trazione: quando la forza viene applicata perpendicolarmente ed uniformemente ad una superficie del corpo, in modo da tendere ad allungarlo;
- di compressione: nelle stesse condizioni del punto precedente, solo che la direzione della forza è tale da tendere ad accorciare il corpo;
- di taglio: quando una forza è applicata tangenzialmente ad una superficie del corpo. L'effetto di questo tipo di sforzo è chiamato deformazione di scorrimento.

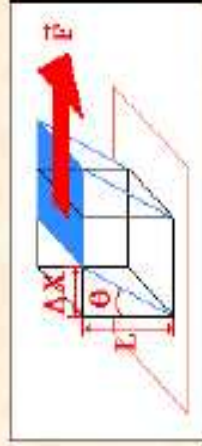
$$\sigma = \frac{F}{A}$$



Trazione e compressione producono variazioni della lunghezza che si definiscono deformazioni:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L}$$

Gli sforzi di taglio producono deformazioni di scorrimento:

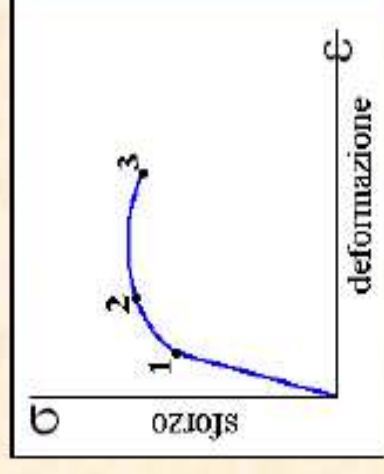


$$\text{deformazioni di scor.} = \frac{\Delta X}{L}$$

Elasticità

La deformazione che può subire un corpo sottoposto a sforzo, ha un andamento come quello mostrato nel grafico.

Il grafico è lineare fino al punto 1: in questo regime, detto **elastico**, il corpo si deforma sotto l'azione delle forze esterne ed al cessare di queste riprende la configurazione primitiva. Sottoposto ad uno sforzo maggiore, nella regione tra il punto 1 e il punto 2 (detta di deformazione **plastica**), il corpo arriva ad un livello di deformazione oltre il quale non ritorna al proprio stato iniziale (anche se viene eliminato lo sforzo applicato). Applicando uno sforzo ancora maggiore (**carico di rottura**), arrivando al punto 3, il corpo si rompe.



Legge di Hook

Se la deformazione di un corpo prodotta da una forza gradatamente crescente, varia in modo proporzionale alla forza, si dice che il materiale che forma il corpo in esame segue la legge di Hook.

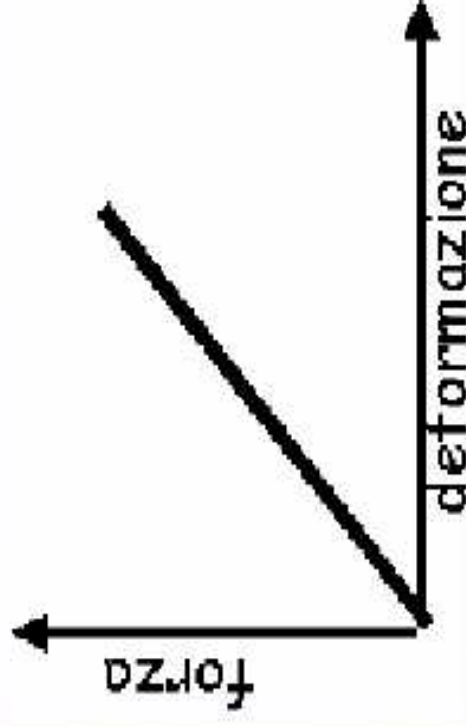
Il materiale ha un comportamento lineare (diretta proporzionalità)

$$\sigma = E \varepsilon$$

$$\frac{\sigma}{\varepsilon} = E = \text{modulo di elasticità di Young}$$

$$y = a x + b \text{ linearità}$$

$$y = a x \text{ diretta} \\ \text{proporzionalità}$$



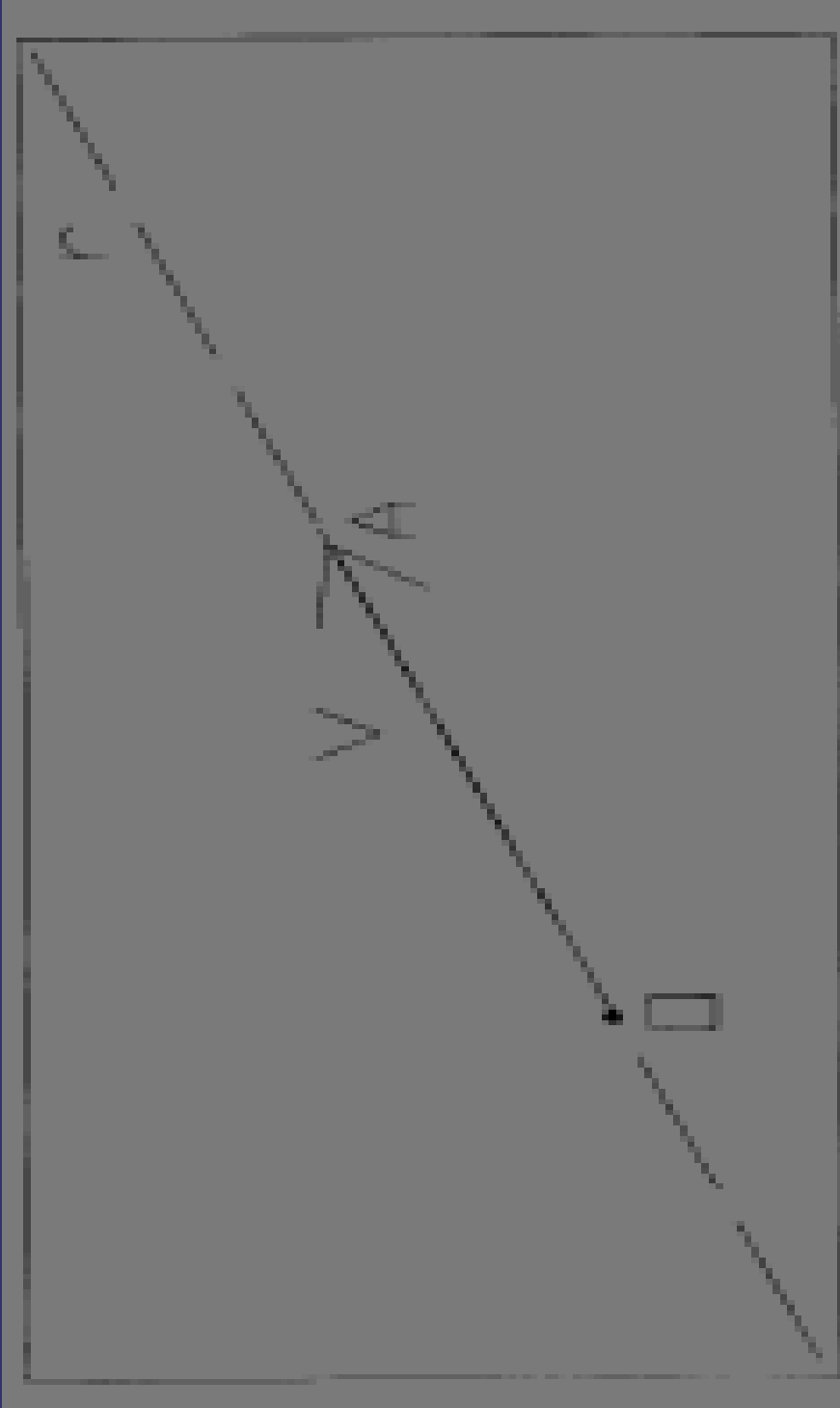


Fig. 1 - Rappresentazione grafica di un vettore.

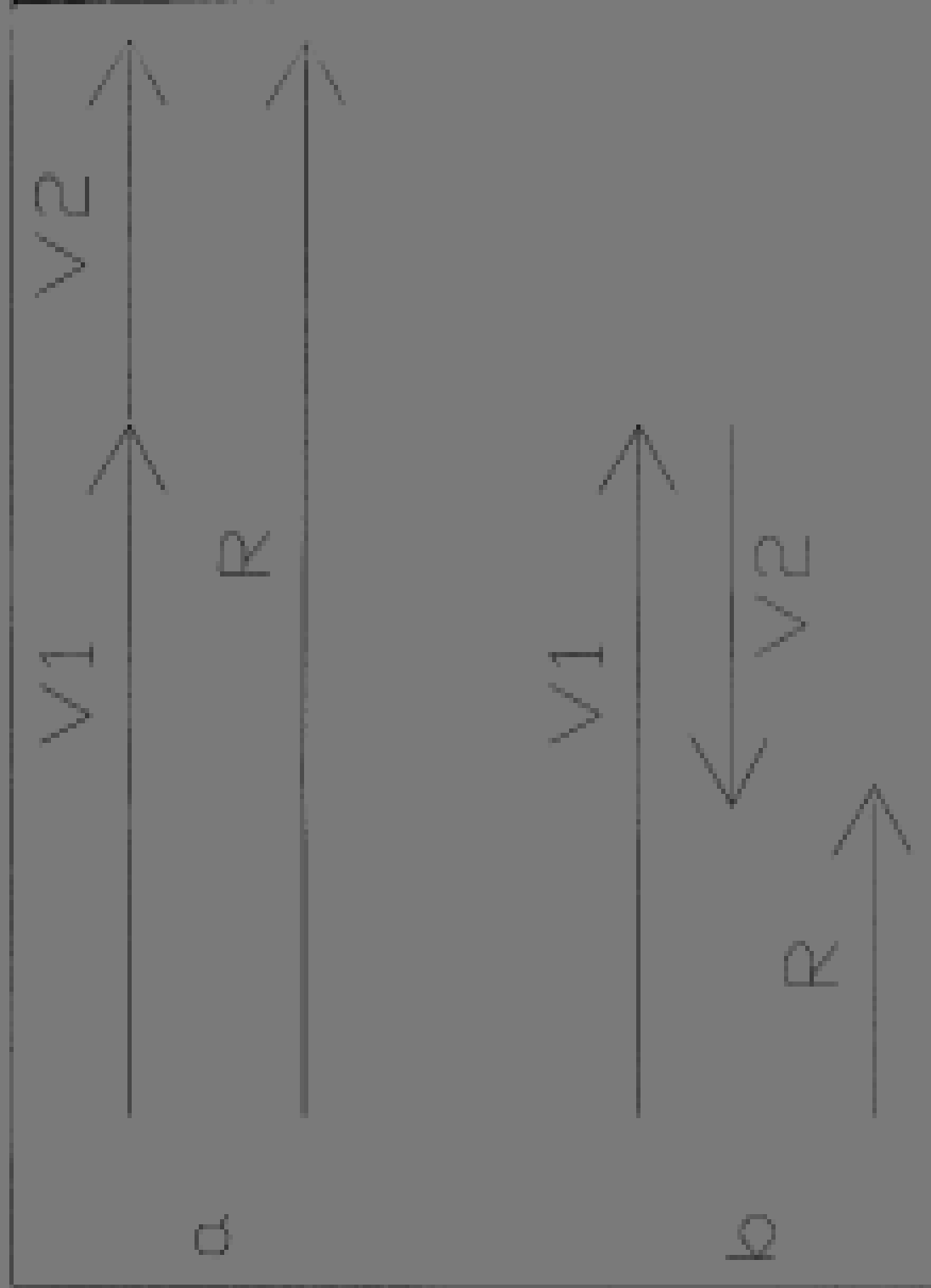


Fig. 2 - Somma di vettori di uguale direzione: a) vettori concordi; b) vettori discordi.



Fig. 1. Segment of vertical (100) crystal

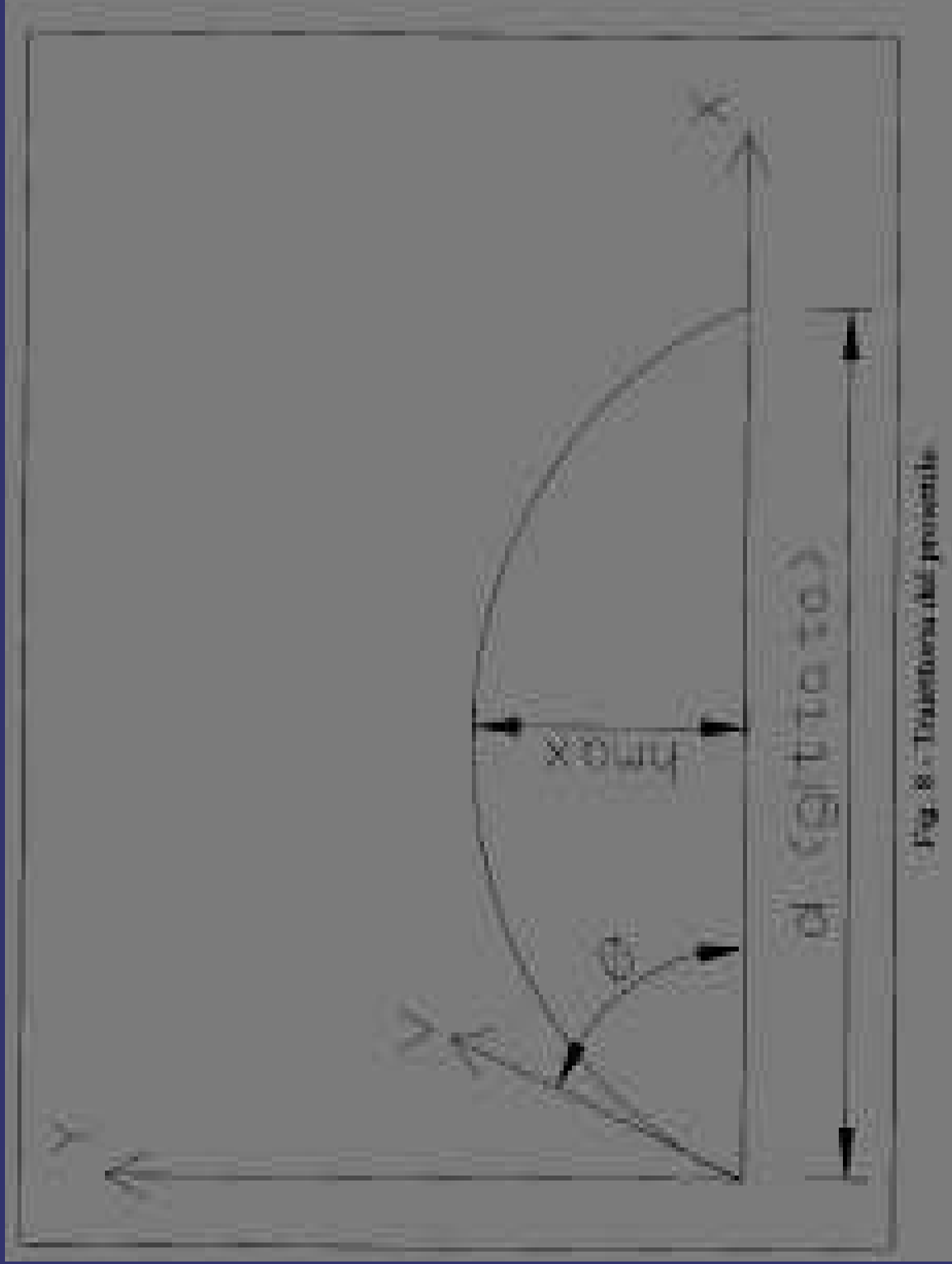


Fig. 8 - Transizione del proiettile

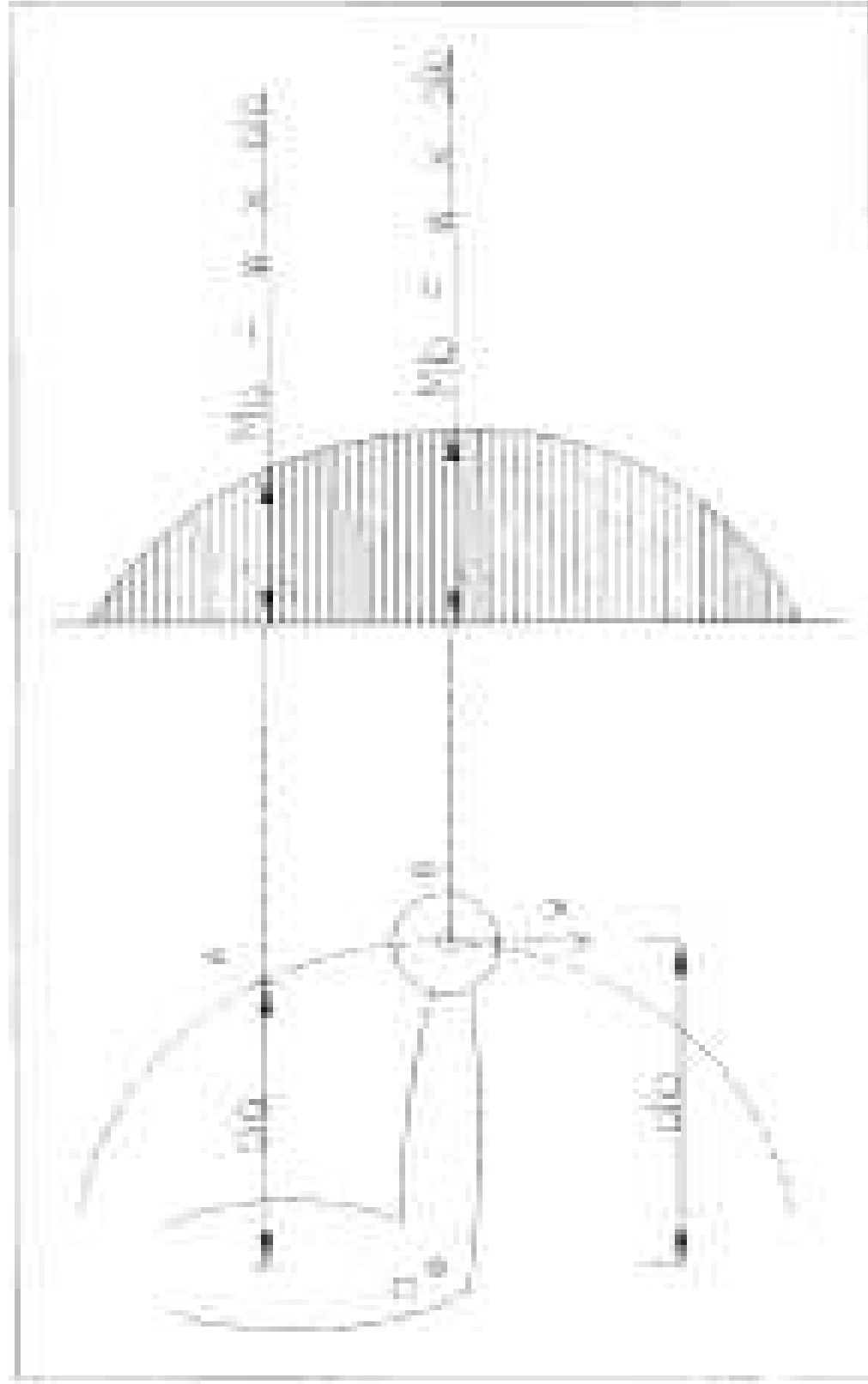


Fig. 12 - Diagramma del momento al variare dell'angolo di flessione del fascio

LE CARRUCOLE E LE MACCHINE PER LA CULTURA FISICA

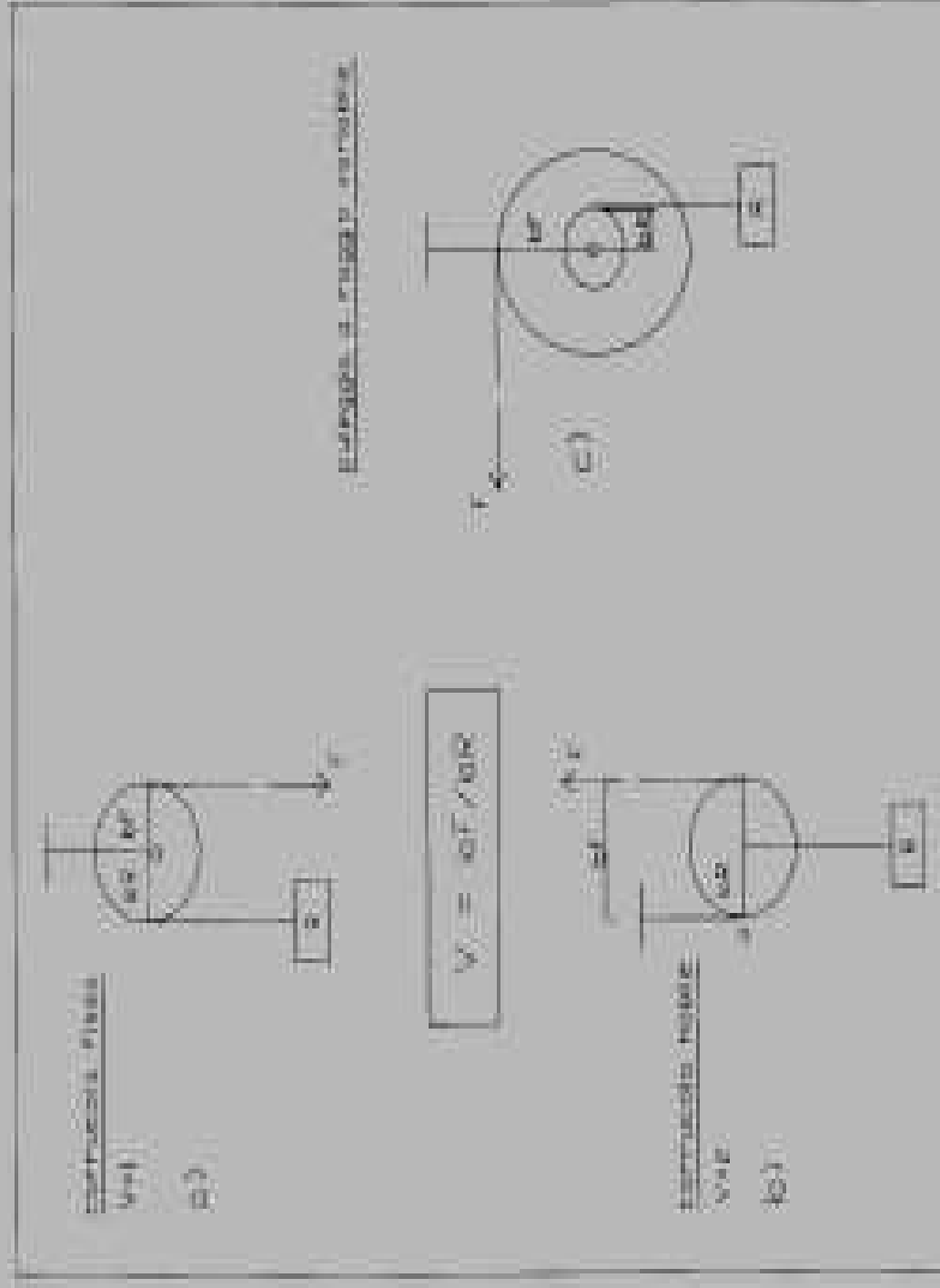


Fig. 24 - a) carrucola fissa; b) carrucola mobile; c) poliscala a ruota p. mobile

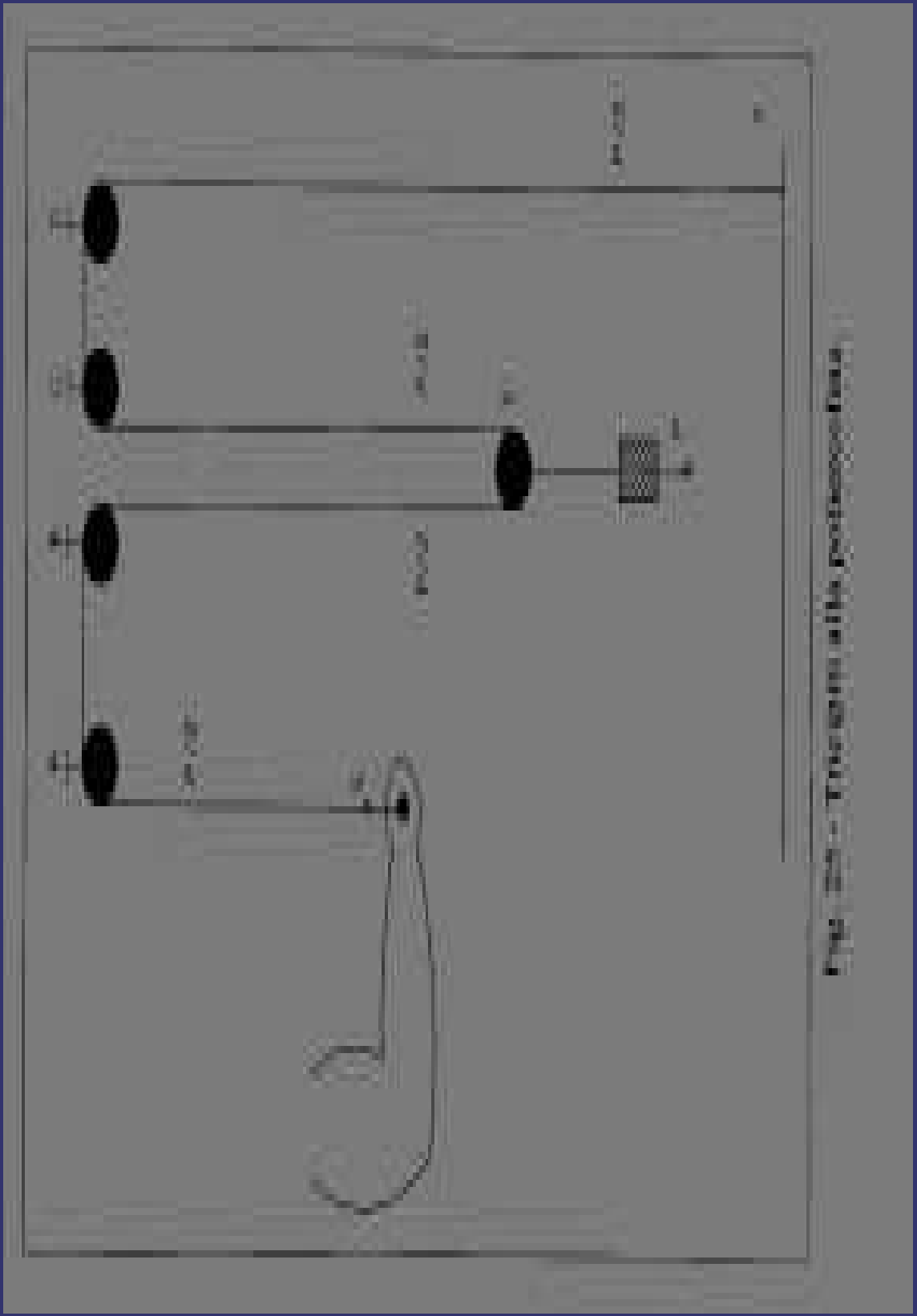


Fig. 10.10 - Treatment with post-aeration

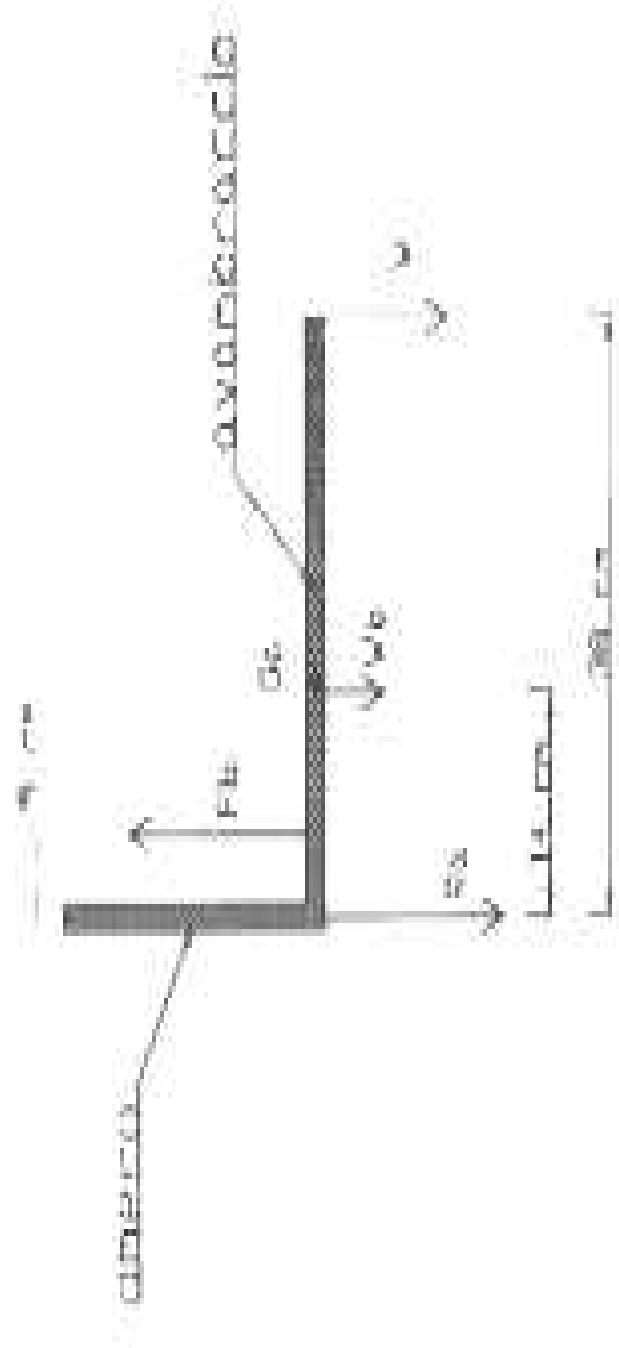
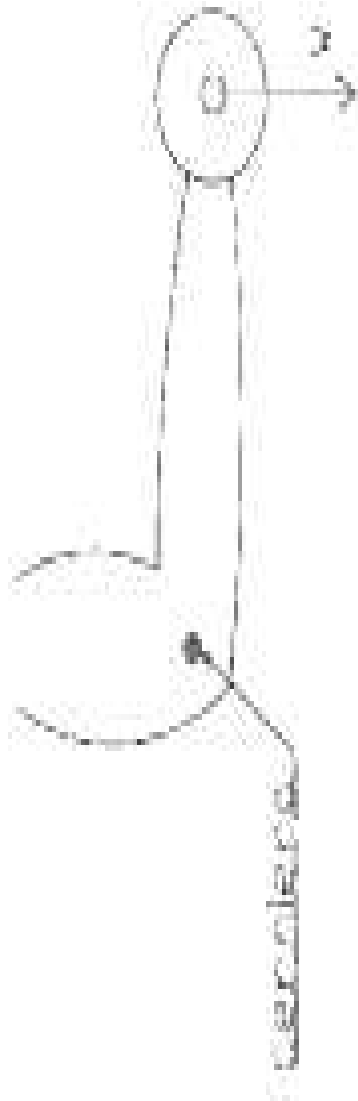


Fig. 1.1. Statically indeterminate beam.

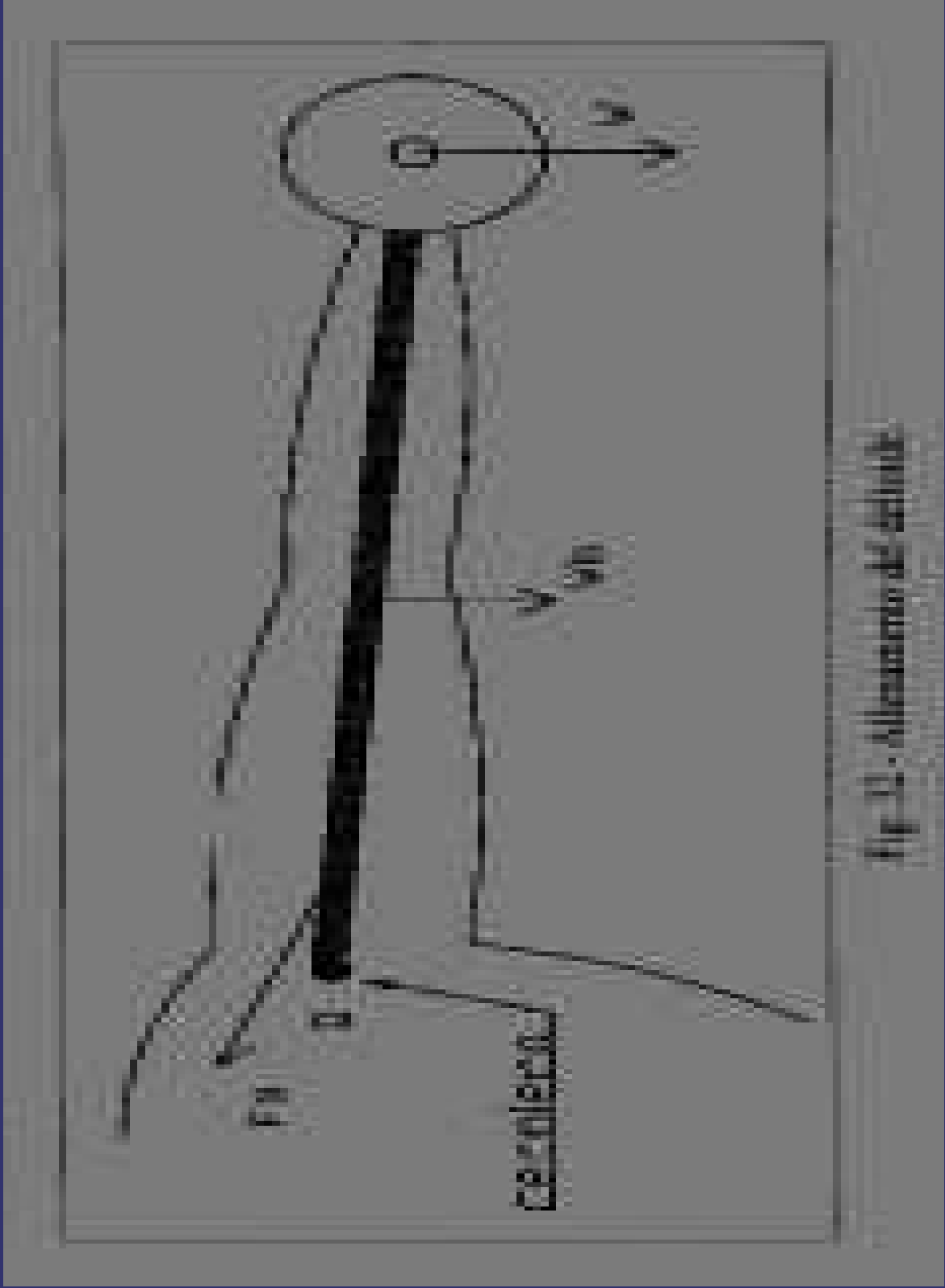


Fig. 12. Alimento de célula.

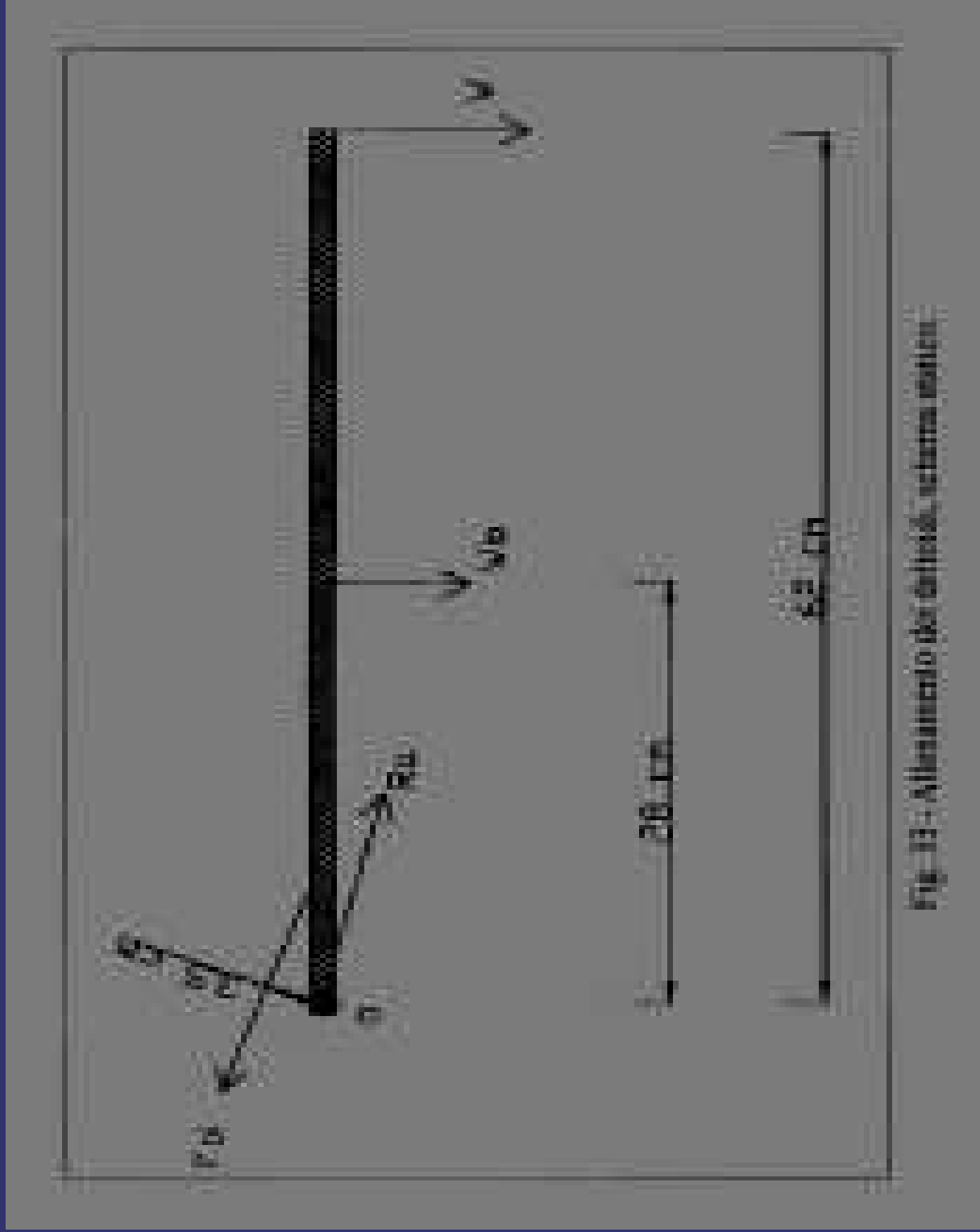


Fig. 11 - Alinhamento dos dentes, seta para a direita.

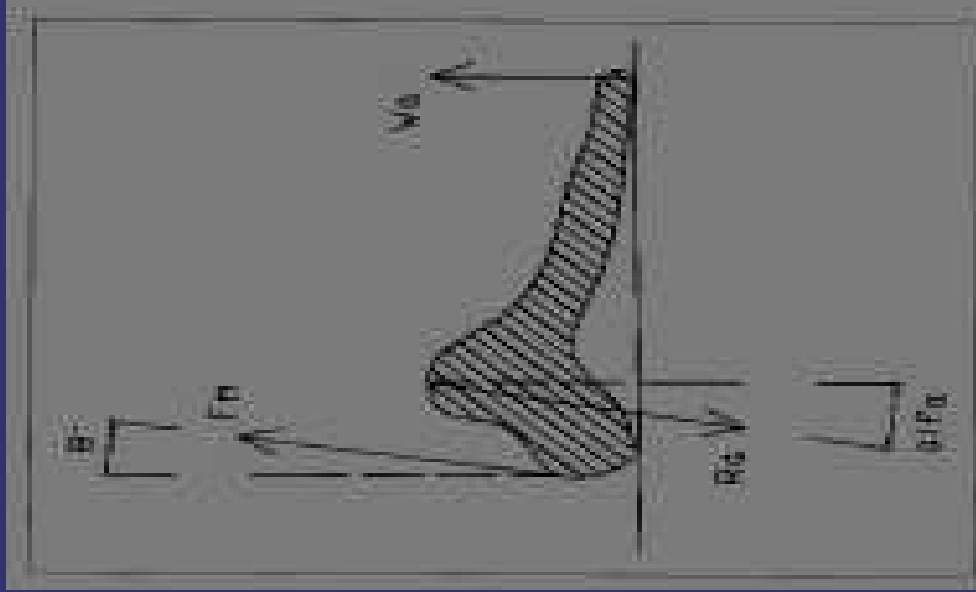


Fig. 36 - Il punto di momento più elevato del terreno.

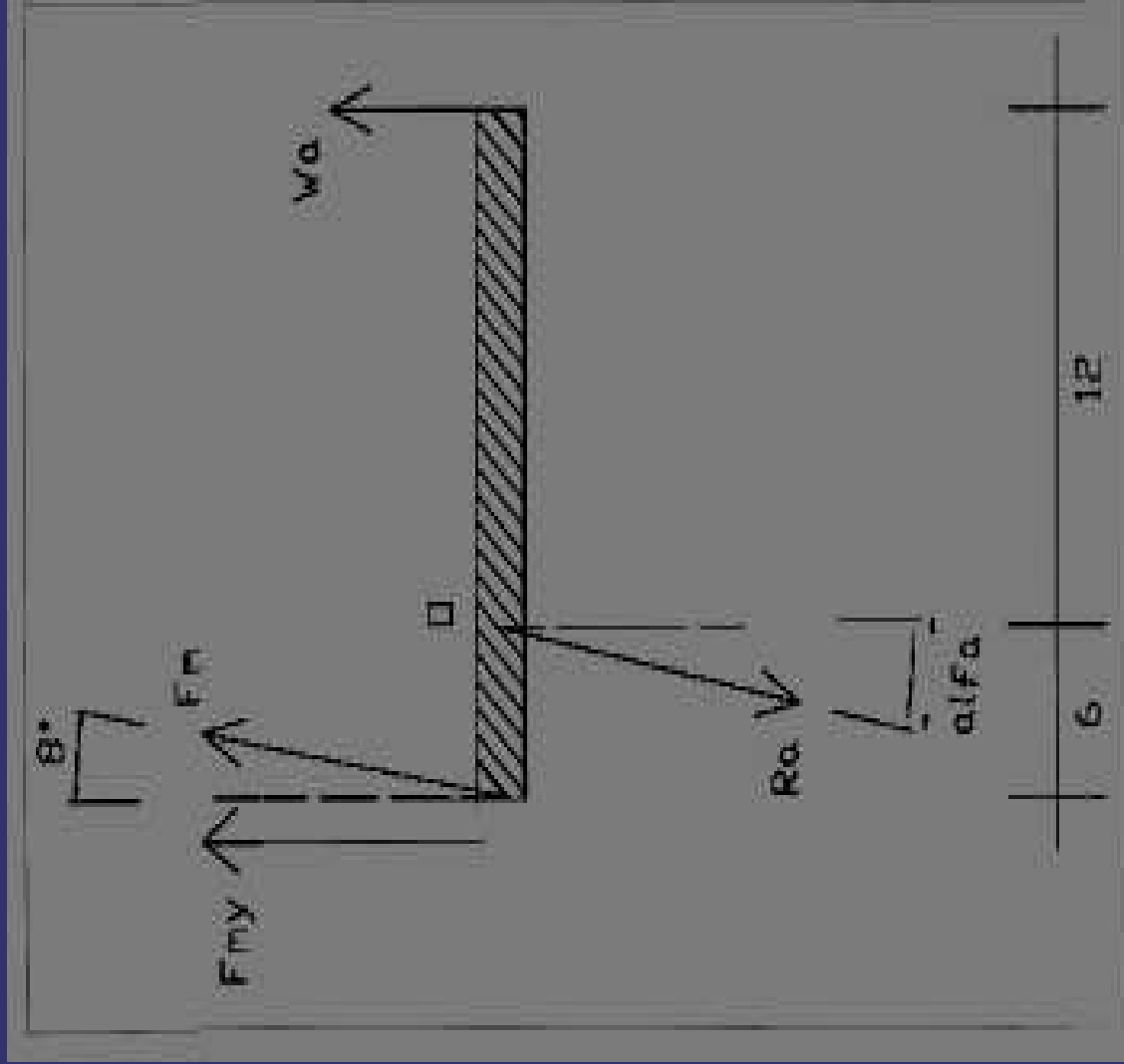


Fig. 37 - Cariglia, sezione statica di riferimento.

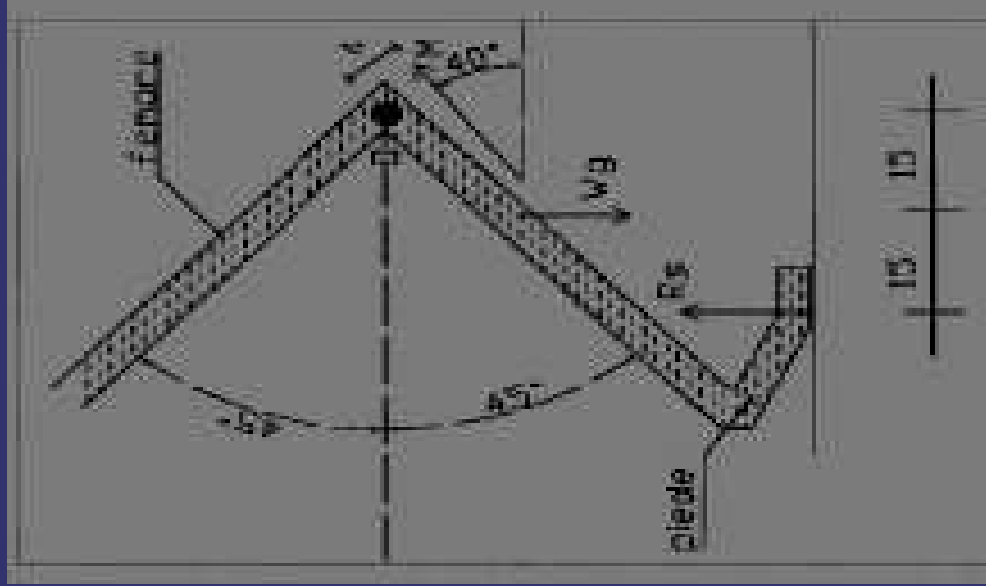


Fig. 18 - Flessione sulla ginocchia

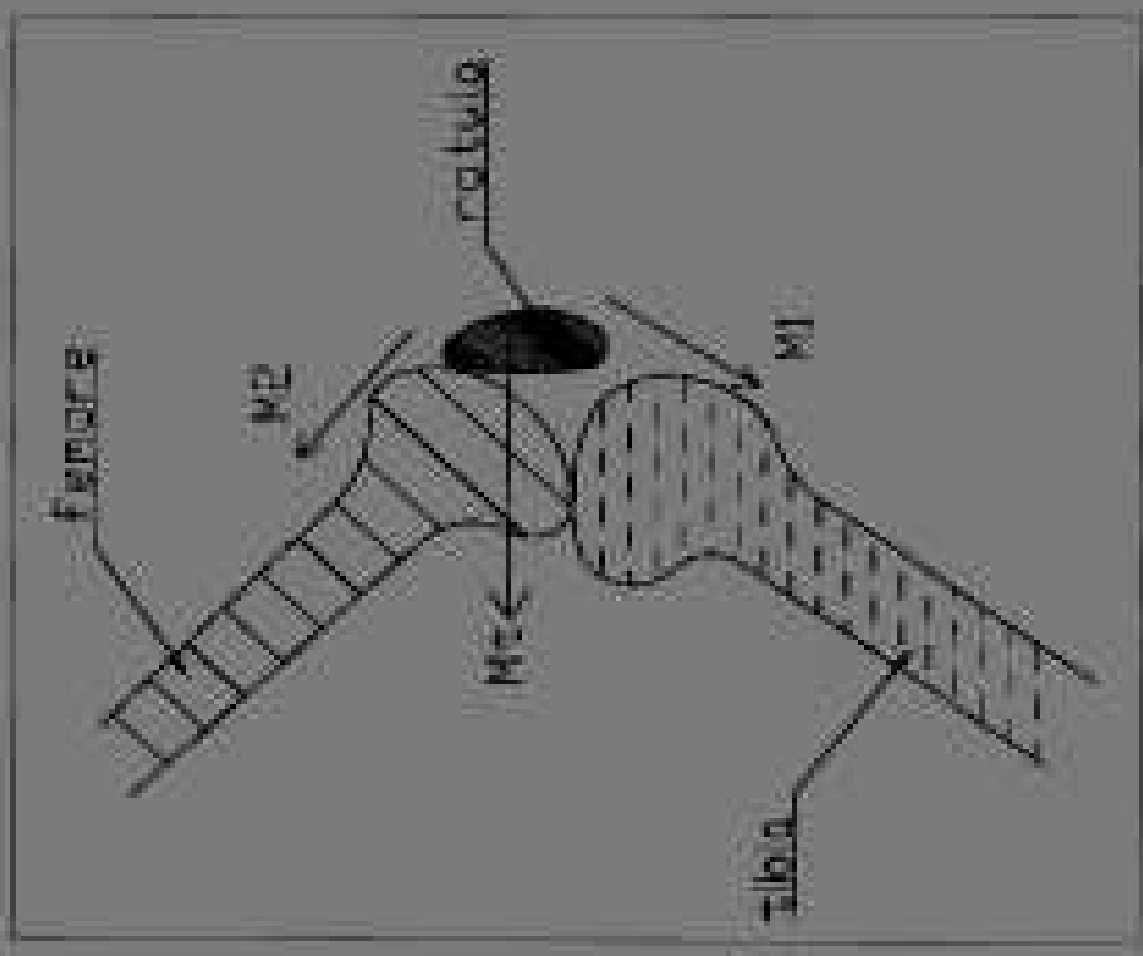


Fig. 19 - Forze di abbassamento femore-patella

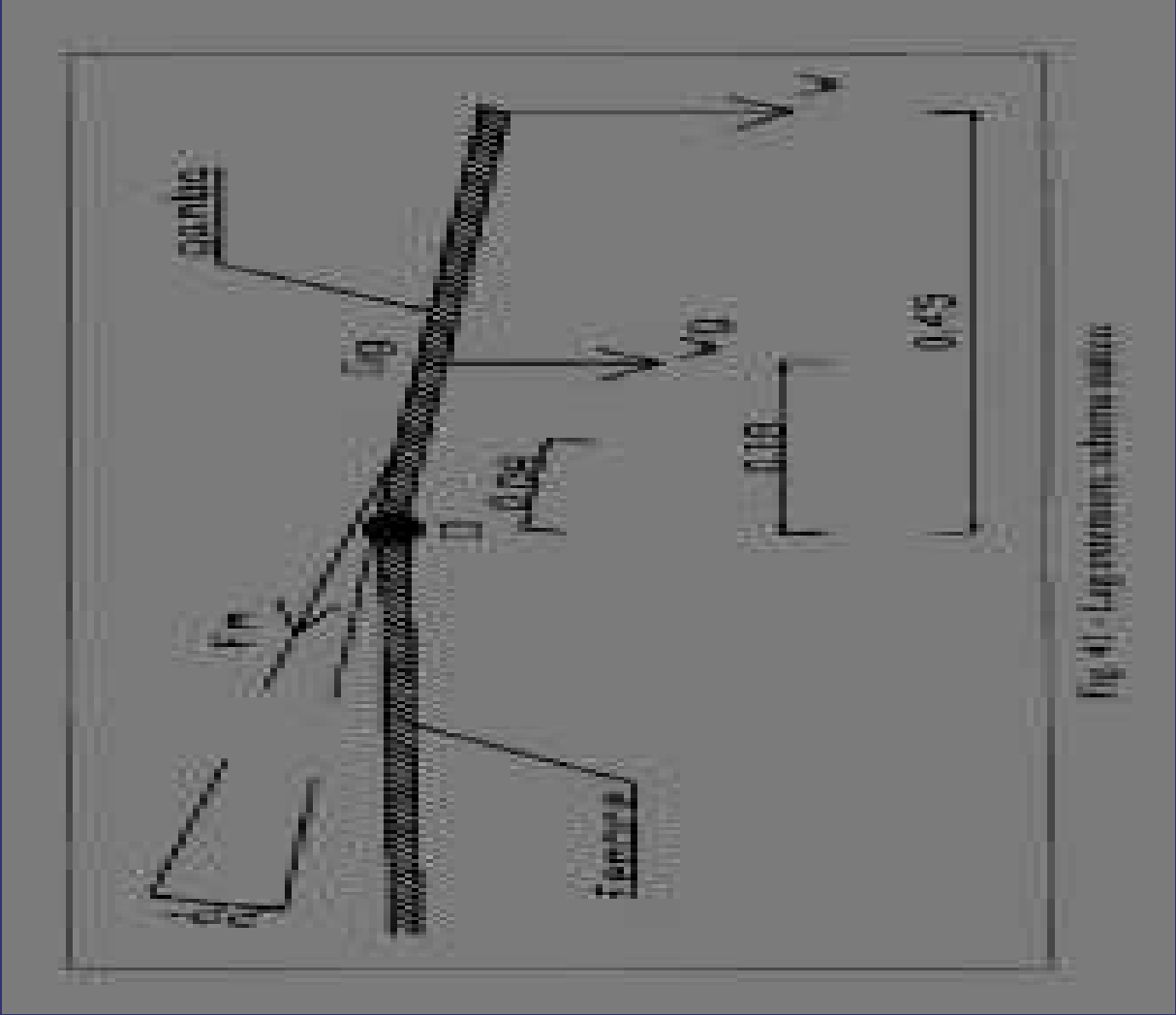


Fig. 41 - Lap extension - carbon rod

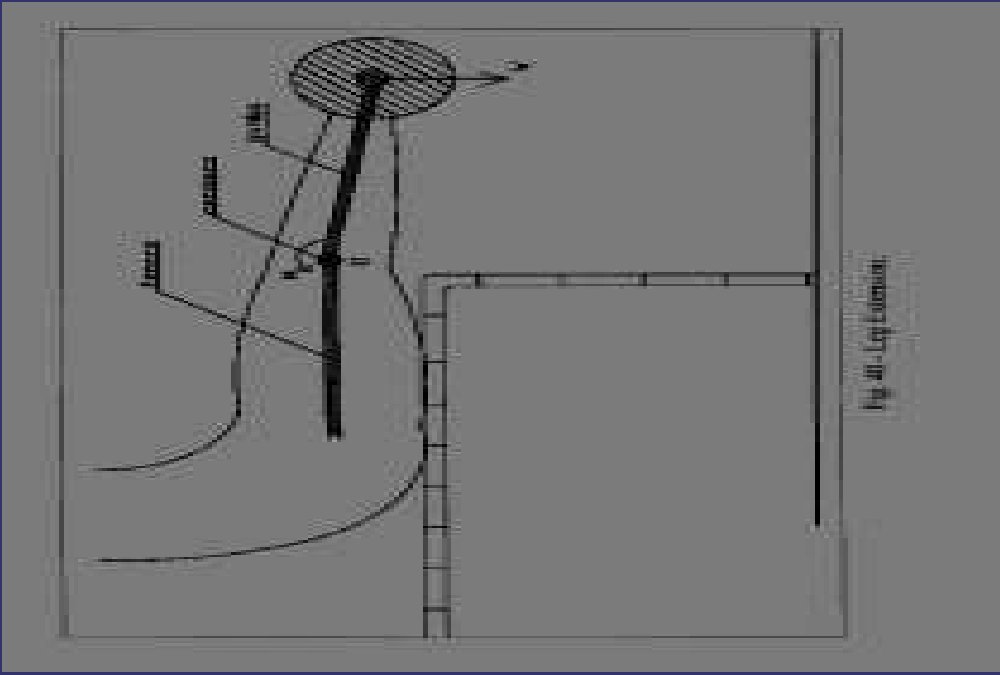


Fig. 40 - Lap Extension