

RAPPORTI TRA LA TENSIONE DEL MUSCOLO, L'ELETTROMIOGRAFIA E LA VELOCITA' DI CONTRAZIONE CON LAVORO CONCENTRICO ED ECCENTRICO

(Prof. P. V. Komi)

I movimenti umani normali vengono principalmente eseguiti da 2 tipi di contrazioni: le contrazioni concentriche e quelle eccentriche. Le contrazioni isometriche sono state spesso usate per studiare il rapporto esistente tra l'attività elettromiografica e la tensione muscolare.

Si è dimostrato che questo rapporto è sia lineare (e.g. Bergstrom, 1959; Close ed al. 1960) sia non lineare (e.g. Kuroda ed al. 1970; Komi e Buskirk, 1970; Bouisset, questo volume), a seconda del tipo di elettrodi usati, dei muscoli studiati e sulla base della tecnica di quantificazione impiegata. Sono scarsissime le relazioni che hanno trattato il raffronto della attività elettromiografica nei diversi tipi di lavoro isotonico (concentrico ed eccentrico).

Asmussen ha notato (1956) che la IEMG integrata (IEMG) di un muscolo che si accorciava contro un peso (lavoro concentrico) era maggiore di quella dello stesso muscolo che si allungava (lavoro eccentrico) sotto lo stesso peso.

Bigland e Lippold (1954) hanno dimostrato una interdipendenza tra la tensione, la velocità di contrazione e la IEMG. I loro risultati hanno indicato che la curva discendente che rappresentava il rapporto tra la IEMG e la tensione è maggiore quando un muscolo si accorcia ad una velocità costante di quando esso si allunghi alla stessa velocità.

contrazione a vari gradi di contrazioni sia concentriche che eccentriche (esperimento II).

Metodi

Strumentazione

Abbiamo usato un dinamometro speciale (Komi, 1971) per registrare la tensione isometrica ed isotonica (concentrica od eccentrica) dei muscoli flessori del gomito (figure 1 e 2).

In breve, si trattava di un sistema elettromeccanico, che permetteva una rapida selezione della velocità di contrazione e della direzione del movimento dei flessori e degli estensori dell'avambraccio. Il dinamometro veniva alimentato da un motore elettrico che veniva collegato tramite una cintura di guida ad una scatola del cambio, la quale a sua volta metteva in funzione un perno di acciaio.

Nel perno, il movimento di rotazione veniva convertito in un movimento lineare, che veniva trasmesso ad un muscolo (m. biceps brachii) tramite il sistema del braccio della leva.

Con una disposizione geometrica adeguata della combinazione perno-braccio della leva, si poteva tenere costante la frequenza della contrazione del muscolo biceps brachii ad 8 velocità differenti (0.8-6.7 cm/sec) ad entrambi i lavori, concentrico ed eccentrico.

Il motore ed i collegamenti elettromeccanici del dinamometro erano così forti che era impossibile per qualsiasi soggetto accelerare il movimento tirando la sbarra della leva (lavoro concentrico) oppure decelerarlo resistendo al movimento stesso (lavoro eccentrico).

L'estensione del movimento all'angolo del gomito era di 120° (50-170°) e corrispondeva ad un cambiamento di 7 cm nella lunghezza del muscolo biceps di un uomo adulto. Il braccio leva presentava un dispositivo speciale per il polso che permetteva la precisa fissazione del polso in qualsiasi posizione desiderata da quella interamente supina a quella interamente prona.

Abbiamo ottenuto una registrazione precisa della velocità di contrazione con un trasduttore fotoelettrico installato da un lato del perno. Questa fotocellula mandava un impulso sulla carta dell'oscillografo ad ogni rivoluzione del perno. Si poteva quindi calcolare la velocità di contrazione dalla distanza percorsa (questa si convertiva in un cambiamento effettivo della lunghezza del muscolo biceps) e dal tempo.

Misurazioni

Abbiamo usato quattro amplificatori Tektronix RM 122 e 4 integratori continui analoghi « ideali » con l'acquisto di voltaggio fissato a 1.000/sec e le frequenze di interdizione superiori ed inferiori rispettivamente a 8 e a 10.000/sec.

Gli integratori venivano calibrati con un segnale che derivava da un'onda al quadrato che simulava più perfettamente possibile l'effettivo segnale EMG registrato dal muscolo.

Abbiamo impiegato la tecnica dell'elettrodo di filo di ferro per raccogliere l'attività elettrica nella maggior parte dei muscoli studiati. Il filo impiegato aveva un diametro di 50 μ m e per preparare l'elettrodo abbiamo usato il nostro vecchio metodo (Komi e Buskirk, 1970).

Abbiamo usato i seguenti tipi di filo: Karma Alloy (esperimento I) costruito dalla Driver-Harris Co., Harrison N.J., ed Evanhom (esperimento II) costruito da Wilbur & Driver Co., Newark, N.J., U.S.A.

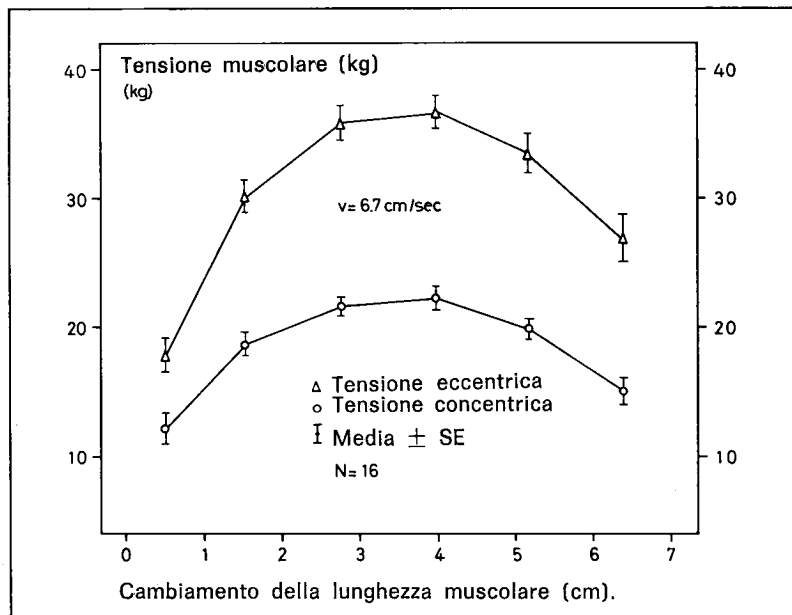


Fig. 3 - Il rapporto tensione - lunghezza per i flessori del gomito, ad una velocità di contrazione di 6,7 cm/sec.

La tecnica di registrazione con i fili dai muscoli brachialis e brachioradialis era la stessa di quella di Basmajian e Stecko (1962), ma per quanto riguardava i muscoli brachii biceps e triceps, i due terminali non isolati (2 mm) erano separati sui punti motori da 4 cm.

Tuttavia, nell'esperimento II, gli elettrodi superficiali (E & M Instrumento Co.) erano collocati sul muscolo brachii biceps (Davis 1959, Komi e Buskirk, 1970). Tutte le coppie di elettrodi avevano un elettrodo comune di fondo, collocato in posizione mediale rispetto al punto centrale tra i 2 elettrodi del biceps.

Procedura di Prova

Nell'esperimento I dei normali soggetti maschili hanno eseguito delle contrazioni massime concentriche ed eccentriche dei flessori del gomito (avanbraccio in supinazione), sul dinamometro, ad 8 differenti velocità di contrazione.

Ogni soggetto si è sottoposto a due prove complete, con una settimana di intervallo tra le due sessioni. Le velocità di contrazione sono state scelte a caso. Il periodo di riposo tra ogni contrazione massimale era di 4 min. Per cui ogni prova comprendeva 16 (8 + 8) contrazioni massimali, concentriche ed eccentriche, scelte a caso.

I soggetti usati nell'esperimento II hanno dovuto sottoporsi a delle attente sessioni di esercitazione prima di essere in grado di eseguire

in modo attendibile le tensioni submassimali desiderate durante le contrazioni isotoniche.

Poiché la tensione muscolare cambia in funzione del cambiamento della lunghezza muscolare (Fig. 3), a volte il soggetto trovava difficile individuare la tensione relativa esatta durante tutta l'ampiezza del movimento.

Abbiamo predisposto due sessioni separate di prova, per studiare i rapporti tra IEMG e tensione muscolare, alle seguenti velocità di contrazione: -4.5, -1.4, 0, +1.4, e +4.5 cm/sec.

I segni meno e più denotano la contrazione eccentrica (lavoro negativo) e le contrazioni concentriche (lavoro positivo) rispettivamente. Le velocità sono state calcolate per il muscolo biceps brachii.

La procedura di prova è stata organizzata in modo tale che la velocità di contrazione veniva scelta a caso. Per ogni velocità veniva anzitutto stabilita una tensione massima, quindi venivano eseguite a caso 6 diverse tensioni submassimali della stessa velocità.

I dati dell'oscillografo venivano analizzati dalla parte centrale del movimento, sempre per lo stesso periodo di tempo relativo, nonostante la velocità di contrazione. Alla contrazione isometrica (0cm/sec) l'angolo del gomito era di 100°.

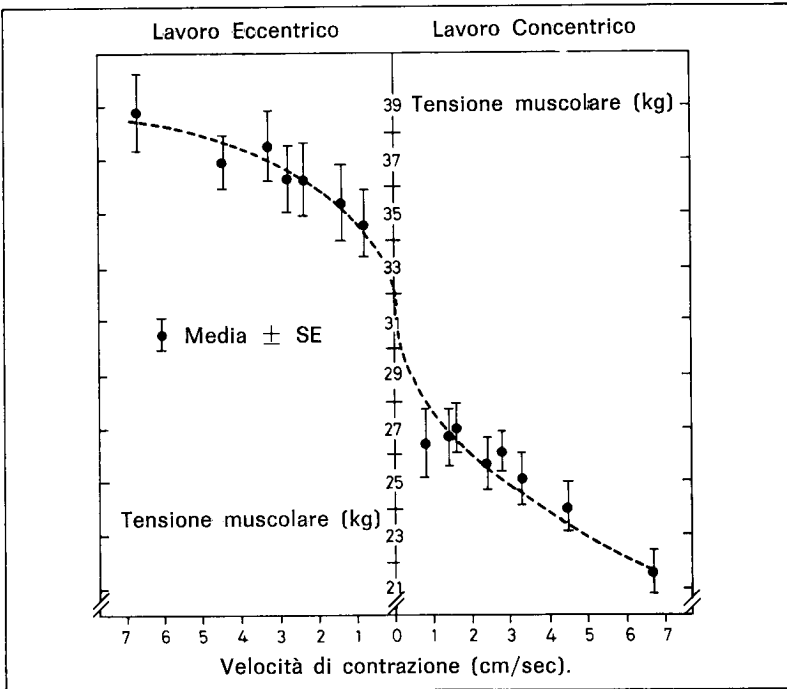


Fig. 4 - Il rapporto forza - velocità per i muscoli flessori del gomito (n = 16).

Risultati e Discussione

Alle figure 4 e 5 mostriamo i risultati dell'esperimento I. Il rapporto forza-velocità per i muscoli flessori del gomito (fig. 4) assomiglia molto da vicino al classico rapporto forza-velocità ottenuto con muscoli isolati (Levin e Wyman, 1928).

Concorda inoltre abbastanza con i risultati di Asmusen e coll. (1965), benché il gruppo danese usasse muscoli diversi nel suo studio. Quando venivano registrati i valori massimi di IEMG ad ogni velocità di contrazione, durante la parte della tensione massima, allora il rapporto IEMG-velocità diventava simile a quello indicato nella fig. 5.

Infatti entrambi i muscoli agonisti indicavano che i valori medi si trovavano un po' sparsi attorno alla linea orizzontale, eppure la tendenza generale indica che l'attività

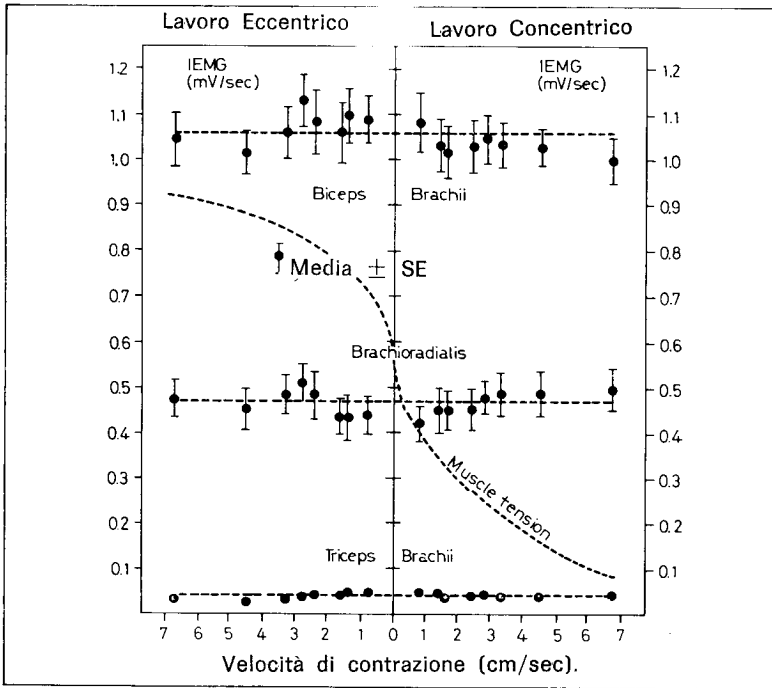


Fig. 5 - Rapporto tra massima attività elettrica integrata (IEMG) e velocità di contrazione. I soggetti ed i muscoli sono stati usati allo stesso modo della fig. 4.

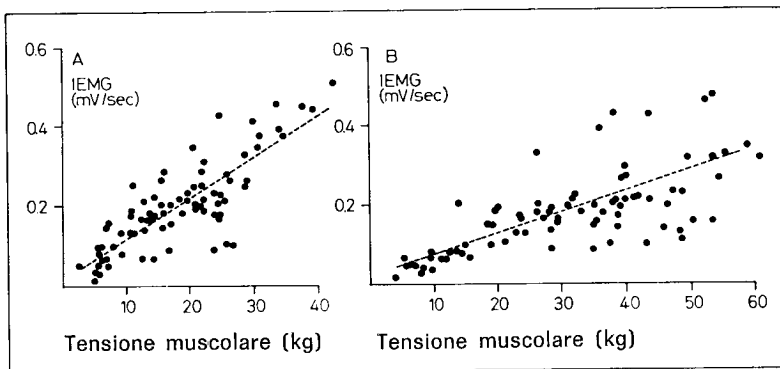


Fig. 6 - Rapporto tra EMG integrata (ordinario mV/sec) e tensione (kg, ascissa) dei flessori del gomito (dati di gruppo, $n=10$) alla stessa velocità di contrazione (4.5 cm/sec) del lavoro concentrico (A) ed eccentrico (B). La IEMG viene registrata dal muscolo brachio radialis con elettrodi di filo di ferro.

massima di IEMG era all'incirca la stessa ad ogni velocità di contrazione impiegata.

Abbiamo osservato scarsa attività nel muscolo antagonista (triceps brachii) per tutta la gamma delle velocità.

Alle figure 6, 7 e 8 forniamo i principali risultati dell'esperimento II. Alla fig. 6 forniamo il rapporto tra IEMG e tensione muscolare (kg) dei flessori del gomito per il muscolo brachioradialis sia in contrazioni concentriche (sinistra) che eccentriche (destra) di velocità raffrontabili. (4.50 cm/sec). Quando è stata tracciata la linea di regressione lineare attraverso i diagrammi, questa linea risultava molto più ripida nella contrazione concentrica che in quella eccentrica.

Quando si raffrontano le linee di regressione lineare di diverse velocità di contrazione, otteniamo per ciascun muscolo una famiglia di curve. La figura 7A mostra che la curva della linea di regressione è diventata molto più ripida, se il muscolo si contraeva concentricamente con maggiore velocità.

Nel lavoro eccentrico, la linea di regressione (IEMG-tensione, kg) si è spostata a destra nel suo rapporto con la linea isometrica. Tuttavia, non siamo riusciti ad ottenere alcuna separazione tra le due linee eccentriche.

Per il muscolo biceps brachii tutte le linee erano relativamente ben separate le une dalle altre (fig. 7C). Abbia-

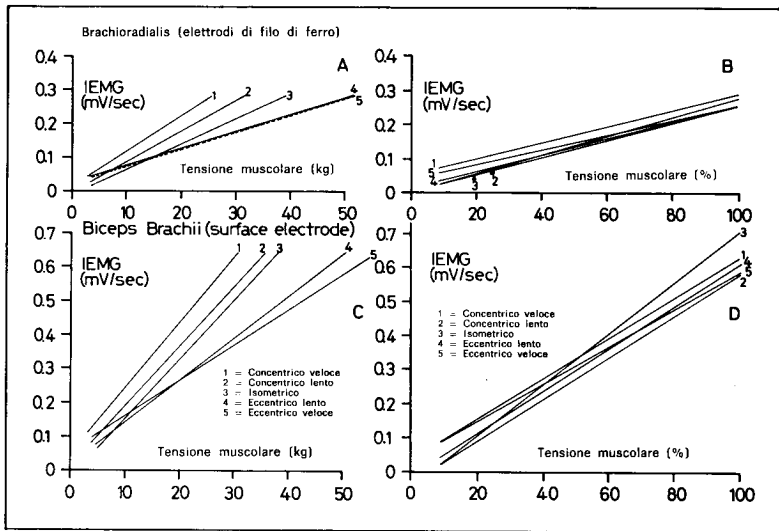


Fig. 7 - Rapporto tra IEMG integrata (mV/sec. ordinata) e tensione a diverse velocità di contrazione. La tensione muscolare è espressa in Kg in A e C, ed in percentuale della massima contrazione volontaria dei flessori del gomito in B e D. A e B M. brachioradialis registrato con elettrodi di filo di ferro. C e D M. Biceps brachii registrato con elettrodi di superficie. I 5 rapporti indicati in ciascun quadro sono numerati nel modo seguente: 1) concentrico veloce, + 4.5 cm/sec; 2) concentrico lento + 1.4 cm/sec; 3) isometrico, 0 cm/sec; 4) eccentrico lento, - 1.4 cm/sec e 5) eccentrico veloce - 4.5 cm/sec.

mo potuto vedere ciò anche dal risultato del muscolo brachialis (fig. 8), benché le due linee eccentriche abbiano cambiato di posto, rispetto alla loro posizione nella fig. 7C.

Se la tensione muscolare viene espressa in percentuale della massima contrazione volontaria, invece che del valore assoluto, allora il rapporto (IEMG-tensione, %) dovrebbe diventare quasi simile in tutti i tipi di contrazione ed in tutte le velocità di contrazione impiegate.

Le figure 7B e D ed 8 mostrano il risultato di questo raffronto. Per il muscolo brachioradialis i coefficienti di curva delle differenti linee erano più o meno gli stessi, e le linee quasi si sovrapponevano. Risultati simili, anche se non così buoni, si sono ottenuti per gli altri 2 muscoli.

Questi risultati suggeriscono che l'attivazione della componente contrattile del muscolo nella contrazione mas-

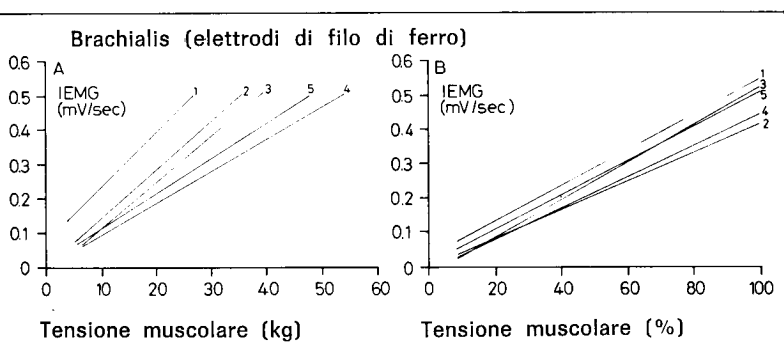


Fig. 8 - Confronto del rapporto del IEMG alla tensione muscolare assoluta e relativa per il muscolo brachialis a differenti velocità di contrazione. Per i dettagli vedere fig. 7: 1) Concentrico veloce; 2) Concentrico lento; 3) Isometrico; 4) Eccentrico lento; 5) Eccentrico veloce.

simile sembra essere la stessa in tutti i tipi di contrazione e in tutte le velocità di contrazione impiegate.

Ciò concorda con quanto precedentemente scoperto (Komi, 1970), secondo cui non si poteva riscontrare alcuna differenza statisticamente significativa tra i valori massimi di IEMG delle contrazioni isometriche, eccentriche e concentriche.

Tuttavia, questo risultato non lo si può estrapolare a situazioni in cui si impiegano velocità di contrazione maggiori. La gamma di velocità nel nostro dinamometro rappresenta soltanto una parte della gamma di velocità fisiologicamente possibili.

I rapporti ottenuti tra IEMG e tensione (kg) nelle contrazioni concentriche concordano perfettamente con i risultati di Bigland e Lippold (1954) e Miyashita ed al. ('70).

Perciò, nella contrazione concentrica, l'attività elettrica di un muscolo dipende dalla velocità di contrazione. Ciò è stato verificato anche da Bouisset e Goubel (1968), i quali hanno dimostrato un rapporto quadratico tra IEMG e velocità di contrazione.

Dai rapporti tra forza e velocità e IEMG e velocità (figure 4 e 5) ci si aspetterebbe che la velocità di contrazione anch'essa debba avere un effetto sul rapporto IEMG-tensione (kg) nel lavoro eccentrico.

I nostri risultati non ci hanno permesso di dimostrare ciò, ma il coefficiente di curva (IEMG-tensione) era certa-

mente inferiore nella contrazione eccentrica che in quella isometrica.

Si è riferito che nel lavoro eccentrico, la curva forza-velocità assume posizione orizzontale in velocità di contrazioni più elevate (Hill, 1951, Asmussen ed al. 1965) sottointendendo che non si possa ottenere alcun ulteriore aumento di tensione.

Perciò, se le tensioni massime a 2 diverse velocità di contrazione eccentrica non differiscono in modo netto l'una dall'altra, la separazione tra le loro rispettive linee di regressione (IEMG-tensione) diventa difficile da dimostrarsi.

Se si usano delle velocità che chiaramente rappresentano 2 diverse parti nella fase crescente della curva forza-velocità, si potrebbe forse osservare la dipendenza della IEMG dalla velocità di contrazione, anche nel lavoro eccentrico. Ovviamente è necessario un maggior numero di studi su questo problema.

I nostri risultati ci suggeriscono che, nell'ambito della gamma di velocità del dinamometro, il rapporto tra IEMG e tensione muscolare (%) sembra simile, senza tener conto del tipo di contrazione usata o della velocità di contrazione selezionata.

Questo dato può avere un importantissimo valore quando si studiano altri aspetti relativi ai parametri di alimentazione-produzione nel lavoro muscolare, nell'ambito della intera gamma della tensione fisiologica e dei diversi tipi di velocità di contrazione.

Riassunto

Abbiamo studiato l'interdipendenza della tensione muscolare, dell'attività elettrica integrata (IEMG) e della velocità di contrazione dei muscoli flessori del gomito durante un lavoro concentrico ed eccentrico, servendoci di uomini normali come soggetti. Il lavoro è stato eseguito su di un dinamometro speciale che permetteva di effettuare una rapida selezione di direzione e di velocità del movimento.

Quando si eseguivano delle contrazioni massimali dei flessori del gomito a diverse velocità costanti, positive (lavoro concentrico) e negative (lavoro eccentrico), la curva ottenuta seguiva da vicino il rapporto forza-velocità di tipo classico, per i muscoli isolati.

Tuttavia, la IEMG massima di entrambi i biceps brachii e brachioradialis rimaneva relativamente costante a ciascun tipo di velocità di contrazione.

Nel lavoro submassimale, si è ottenuta una famiglia di curve per ciascun muscolo (biceps brachii, brachioradialis e brachialis) per indicare il rapporto tra IEMG e tensione muscolare assoluta (kg) a diverse velocità di contrazione.

Si poteva dimostrare che la IEMG dipendeva dalla velocità di contrazione in particolare nel lavoro concentrico. Tuttavia non siamo riusciti a trovare delle differenze chiare nel rapporto IEMG-tensione a nessun tipo di velocità di contrazione, quando la tensione muscolare veniva espressa in percentuale della contrazione massima volontaria.

Riconoscimenti

Desidero qui riconoscere il valido contributo del sig. Veikko Eloranta; l'assistenza al calcolatore offertami dal sig. Kenneth L. Petak (Laboratorio Biomeccanico, Penn State University) e dalla signorina A. Boutiainen; la piacevolissima collaborazione delle signorine S. Aunola, S. Hannula, S.L. Karppi e della signora S. Lemettinen, nel corso della raccolta e dell'analisi.

In parte finanziato da un lascito del Ministero dell'Istruzione della Finlandia.