

Scuola di speleologia di Cagliari della CNSS-SSI



Speleo Club di Cagliari

«Antichi» strumenti e Topografici e Geodetici

Paolo Salimbeni



**Comitato
Esecutivo
Regionale
Sardegna**

**Commissione
Nazionale
Scuole
di Speleologia**



Anno 7E303

Testi Tecnici

Prima edizione: 06 / 2011

Ultima versione: 03 / 2019

Prefazione

«*Antichi*» recita il titolo e non si è troppo lontani dal vero, anche se, solo *ieri*, gli avrei potuti definire «*Moderni*».

L'era del **GPS** (**G**lobal **S**ystem **P**ositioning), ma soprattutto sia quella dei **sistemi globali**, sia quella dei **programmi di grafica**, sia quella dell'onnipresente «**Internet**», hanno reso apparentemente superfluo sia di capire la teoria, cui s'informano gli strumenti che si stanno utilizzando, sia di conoscerne tutte le caratteristiche.

In questa dispensa, ho cercato di rivivere i tempi nei quali non esistevano, non solo i **sistemi satellitari**, ma neanche i più comuni **strumenti elettronici**, che sollevano l'operatore dal dover sapere cosa sta facendo lo strumento; i tempi, non molto lontani, in cui per poter usare degli strumenti si dovevano conoscere esattamente sia tutte le sue caratteristiche sia tutte le generalmente complesse procedure necessarie per utilizzarli al meglio sia i problemi derivanti da non conformi criteri d'uso.

Ho inserito pertanto alcuni **vecchi** strumenti usati e in topografia ed in geodesia, quando i programmi di disegno computerizzato, tipo *Autocad*, ancora non erano stati neanche pensati; strumenti utilizzati sia dai greci sia dai romani, ma anche in tempi più recenti.

Le appendici riportano o rarità o stranezze o bizzarrie che per i topografi sono strumenti interessanti, ma che per non *addetti ai lavori* sembrano ridicoli manufatti possibili oggetto di banali giochi (*games*, per chi preferisce i termini inglesi).

L'Autore

L'Autore sarà grato a tutti coloro che gli segnaleranno eventuali od *errori* od *imprecisioni* (sono graditi anche e *consigli* ed *opinioni*).

via P. Cavarò, 73 09131 Cagliari
cellulare: +39 3493897629
e-mail: p.salimba@gmail.com

Questa ed altre dispense, sempre dello stesso Autore, nel sito di **Paolo Salimbeni** «<http://www.paolosalimbeni.it>»; vedi in: **Dispense**.

Dello stesso Autore, e nel medesimo sito, alcune presentazioni in **PowerPoint**; vedi in: **Presentazioni**.

Copyright © Paolo Salimbeni

Tutti i diritti sono riservati, a norma di legge ed a norma delle convenzioni internazionali; nessuna parte dell'opera può essere riprodotta, tradotta o diffusa, in qualsiasi forma o sistema (per fotocopia, microfilm, supporti magnetici, o qualsiasi altro procedimento), o rielaborata o trasmessa, con l'uso di sistemi elettronici, senza l'autorizzazione scritta dell'autore. . . . **o no ?!**

All rights reserved, no part of this book may be reproduced, who may quote brief passages or reproduce illustrations in un review with appropriate credit; nor ay any part of this book be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted in any form or by any means electronic, photocopying, recording, or other without permission in writing from the Author. . . . **or not ?!**

«Antichi» strumenti e Topografici e Geodetici

La misura delle distanze

L'Odometro

Sembra che il primo **Odometro** abbia visto i propri natali in Grecia; alcuni degli studiosi ne attribuiscono l'invenzione a **Erone Alessandrino** (I secolo aC) [fig. 01], anche se non tutti sono d'accordo.

Fu poi diffusamente utilizzato anche dai romani anche se non è stata mai ritrovata alcuna testimonianza archeologica né per quanto riguarda i romani né per quanto riguarda i greci.

Questa qui presentata è una ricostruzione di come forse erano i primi strumenti di tal genere.

Serviva per la misura di distanze, contando il numero di giri che doveva compiere una ruota per percorrere un determinato percorso.

Conoscendo il numero di giri effettuati dalla ruota «n» e la misura della circonferenza «c», della ruota, la distanza «s» era data da:

$$s = n \cdot c$$

Gli egizi misuravano le distanze a passi (per curiosità, vedi anche [Il **Manuale del Trekking**] dello stesso Autore, e gli specialisti in tale operazione erano chiamati **bimatistes**).

Quello descritto da **Erone Alessandrino** (I secolo aC), consisteva in una scatola su ruote; per mezzo di quattro viti senza fine facevano girare delle ruote dentate, ciascuna ad angolo retto con la successiva, un ago, posto sulla sommità della scatola, indicava la lunghezza del tratto percorso.

[fig. 02]

Nato inizialmente come strumento molto semplice, l'*odometro* divenne, alla fine del **XVI** secolo, uno strumento meccanico considerevolmente complesso.

Lo strumento qui presentato [fig. 02] è un *odometro* e in legno e in ottone, con iscrizioni attribuite a **Cristoforo Schissler il vecchio** (1530 – 1609).

Il quadrante posto presso l'impugnatura portava tre scale concentriche con relative lancette: la lancetta più corta segnava una rivoluzione completa per ogni giro della ruota di legno, la lancetta mediana faceva una rivoluzione completa per ogni 100 giri della ruota, la lancetta lunga faceva una rivoluzione completa ogni 1000 giri della ruota.

Mille giri della ruota corrispondevano a circa 1 788 m.

Il Telemetro

Il **telemetro** serve per la misura indiretta della distanza fra due punti, operando esclusivamente da uno degli estremi della distanza, senza che, sull'altro estremo, vi si debba recare un operatore.

I *telemetri* permettono di misurare distanze anche superiori a 500 m; gli strumenti che permettono di misurare soltanto distanze inferiori a 500 m, basati sullo stesso principio, si chiamano più propriamente *distanziometri semplici*.

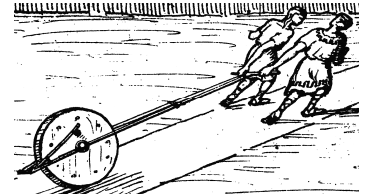
Nella [fig. 03] rappresenta lo schema di funzionamento di questi strumenti.

I raggi luminosi, provenienti da un medesimo oggetto, sono riflessi da due specchietti, o due prismi, posti alle estremità «A» e «B» di un tubo di lunghezza nota.

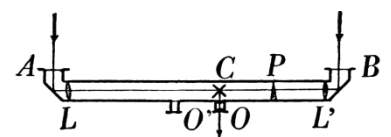
I raggi attraversano due obiettivi «L» e «L'» che sono riflessi da una croce di specchi «C», o di prismi, in un unico oculare «O».

Se si collimasse un punto posto all'infinito, le sue due immagini apparirebbero coincidenti; se si collimasse un punto più vicino, si vedrebbero, attraverso l'oculare «O», due immagini distinte del punto e tanto più distanziate quanto più il punto è vicino allo strumento.

Spostando un prisma «P», mediante un'apposita vite, si riportano le immagini a coincidere e, attraverso un secondo oculare «O'», si legge direttamente, in un'opportuna scala, la distanza direttamente in metri.



[fig. 01]



[fig. 03]

La lychnia

La **lychnia** era uno strumento, generalmente in legno, atto a misurare le altezze, anche quando considerevoli.

in [fig. 04] è rappresentata una ricostruzione resa possibile sia dalla descrizione, che ne ha fatto **Erone Alessandrino** (I secolo aC), sia sulla base di notizie presenti in altre fonti, che la descrivono come una riga montata su in piedistallo munito di puntale per essere conficcato nel terreno e di filo e piombo per una corretta disposizione.

Alla riga erano applicati due mirini scorrevoli su due montanti recanti una scala metrica; **sfruttando** le proprietà di similitudine di due triangoli rettangoli, era possibile eseguire le misurazioni.

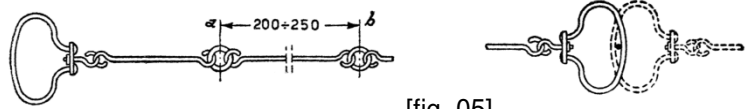


[fig. 04]

La misura delle lunghezze

La catena metrica

La catena metrica è costituita da sbarrette cilindriche d'acciaio, piegate in tondo, alle loro estremità, e congiunte da anelli circolari in modo che la dimensione di ogni singola unità sia una quantità e costante e nota; ad esempio 0.20 m o 0.25 m.

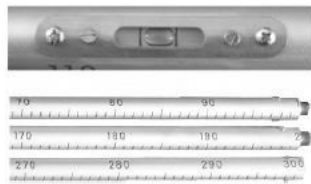


[fig. 05]

Ogni maglia estrema comprende, nella propria lunghezza, anche l'impugnatura [fig. 05]; generalmente tutta la catena ha una lunghezza di 10 m.

L'errore medio probabile commesso nella misurazione di 100 m, su terreno piano orizzontale, in situazioni medie, si può ritenere uguale, approssimativamente, a 0,001 se, ovviamente, si opera correttamente.

Il triplometro



Il **Triplometro** è uno strumento costituito da aste rigide inestensibili, o in legno o in alluminio, di tre (3) metri di lunghezza divise, di solito, o in due o in tre sezioni; il triplometro è munito di una *livella torica* per ottenerne l'orizzontalità [fig. 06].

Si utilizza, in genere, in coppia seguendo un allineamento individuato da una serie di *paline*, per rilevare, in modo e semplice e veloce, una sezione del terreno, anche se in pendenza, utilizzando il metodo detto per coltellazione; col triplometro si misurano direttamente distanze topografiche.

La scala grafica semplice

[fig. 06]

È costituita da un segmento, di lunghezza opportuna, diviso in segmenti di uguale lunghezza (nel nostro caso segmenti multipli di dieci) in corrispondenza dei quali, a partire da un'origine «0», sono indicate le distanze topografiche reali rappresentate [fig. 07].

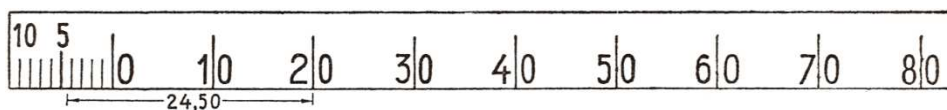


fig. 07

Alla sinistra dell'origine (lo zero) si è aggiunto un altro segmento graduato più minutamente in senso inverso; quest'espedito evita di dover graduare dettagliatamente tutti i segmenti.

Per ottenere la lunghezza reale rappresentata da un segmento, sulla carta, si prende un'apertura di compasso uguale al segmento, si pone una punta nel segmento intero, che non supera l'apertura del compasso e si legge in corrispondenza dell'altra punta, sulle divisioni del segmento graduato minutamente, il restante intervallo.

Nel nostro caso: volendo misurare sulla *scala grafica semplice* una distanza di 24,5 m, si pone una punta del compasso sul venti «20» e si osserva dove cade l'altra punta nella scala ausiliaria graduata in senso inverso; la seconda punta cade nel «4,5».

La misura sarà pertanto, come sapevamo già: $l = 20 + 4,5 = 24,5$ m.

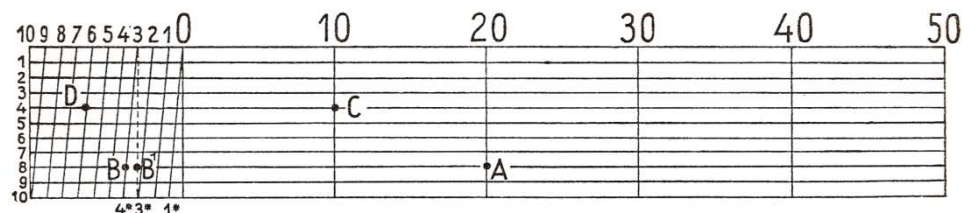
Questa tipologia la troverete in quasi tutte le *scale grafiche*; per curiosità, andate a rivedervi le Carte editate dall'IGM.

La scala ticonica

La **scala ticonica** è costituita da un supporto composto da una serie di dieci segmenti paralleli, anziché un solo segmento diviso in parti, con un'appendice, come la scala grafica.

Anche la scala ticonica porta, a partire dall'origine «0», un'appendice di lunghezza uguale agli altri intervalli e divisa in dieci parti, ma graduata in senso inverso [fig. 08].

[fig. 08]



Per apprezzare la decima parte di ognuna di queste divisioni, si tracciano dei segmenti paralleli fra loro, ma obliqui (inclinati) rispetto al supporto, in modo tale che ognuno di que-

sti segmenti congiunga una divisione, segnata sul bordo superiore (ad esempio la 0), con la divisione successiva (ad esempio l'1*), segnata sul bordo inferiore.

Questi elementi sono tali che, per il teorema di Talete, intercettano, sulle divisioni orizzontali, dei segmenti proporzionali ai numeri: 1, 2, . . . , 9, 10, segnati a sinistra.

Da quanto sopra, è evidente il modo di usare la scala; ad esempio, nel nostro caso, il segmento AB rappresenterà la lunghezza di 23.8 ($AB = 20 \text{ «A 0»} + 3 \text{ «0 B'»} + 0.8 \text{ «B' B»}$).

Parimenti sarà: $CD = 16.4$.

Si potrebbe pensare, sbagliando, di poter aumentare il numero delle divisioni credendo di aumentare l'approssimazione delle letture; in verità, oltre un certo limite quest'aumento è inutile, se non addirittura dannoso.

La misura delle aree.

Le Reticole

Le **reticole** sono costituite da un reticolo a maglie quadrate, stampato su un supporto trasparente ed indeformabile, che si dispone sopra la figura di cui si vuole conoscere l'area; si può raggiungere tale scopo contando i millimetri quadrati in essa contenuti e stimando a vista le frazioni di quelli intersecati dal contorno.

La Reticola di «Bamberg»

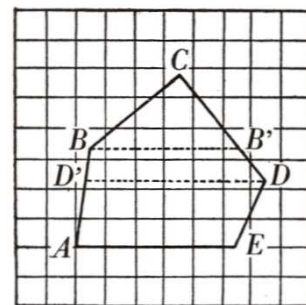
La **reticola di Bamberg** è una lastra quadrata di vetro con il lato di $10\text{ mm} \div 20\text{ mm}$, sulla quale è tracciato un reticolato, parallelo ai suoi lati, con maglie di 1 mm di lato [fig. 09].

La stima a vista dei millimetri quadrati intersecati dal contorno è, generalmente, molto difficoltosa e inesatta per cui si devono mettere in atto procedure particolari per rendere le misurazioni sufficientemente approssimate.

Nel caso la figura abbia un contorno poligonale, si dispone la reticola in modo che uno dei lati del poligono coincida con una delle maglie del reticolo.

S'immagina poi la figura scomposta sia in triangoli sia in rettangoli sia in trapezi, dei quali, contando i millimetri, si misurano e le basi e le altezze e si calcolano successivamente le aree.

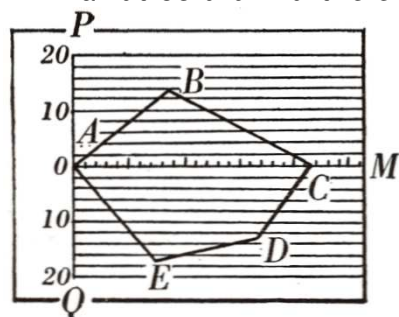
Nel caso la figura, o parte d'essa, abbia un contorno curvilineo, conviene tracciare delle rette di compenso, a vista, in modo da trasformarlo in un poligono equivalente, che si misura come già noto.



[fig. 09]

La Reticola di «Barthelemy»

La **reticola di Barthelemy** è costituita da una lastra rettangolare di cristallo in cui sono tracciate delle linee orizzontali, parallele al lato maggiore, distanziate di uno (1 mm) o due (2 mm) millimetri l'una dall'altra; queste linee partono da una parallela al lato minore «PQ» [fig. 10].



[fig. 10]

Sulla mediana, fra quest'ultime parallele «0M», è incisa una gradazione in millimetri.

Per misurare l'area di una figura poligonale (per esempio, la figura «ABCDE»), si deve sovrapporre la reticola alla figura in modo tale che il punto «0» coincida con uno dei suoi vertici e che «0M» coincida con una diagonale che separi, dalla figura, una parte triangolare (per esempio «ABC»).

Sulla scala «0M» si legge la lunghezza della base «AC», del triangolo «ABC»; sulla scala «0P» si legge l'altezza del triangolo; si legge, pertanto, la distanza del vertice «B» dalla base «AC».

La squadretta iperbolica di «Beauvais»

La **squadretta iperbolica di Beauvais** è o in metallo o in celluloido ed è profilata secondo due rami d'iperbole; ha una piccola incavatura in «O», chiamata **polo**, che si applica contro uno spillo attorno al quale può ruotare la squadretta [fig. 11].

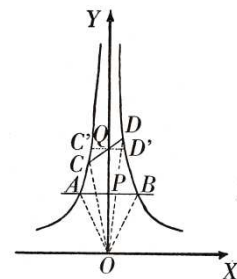
È costruita fissando, innanzi tutto, un sistema di assi cartesiani ed in seguito determinando la curva d'iperbole equilatera di equazione $XY = s$, in cui la costante «s» sia una misura di superficie (ad esempio: 200 mm^2); si determina infine, anche la curva iperbolica simmetrica, rispetto all'asse «Y».

Se adesso, si conduce una qualsiasi parallela, all'asse delle ascisse, che intersechi le due curve (ad esempio: la parallela «A B»), il triangolo di vertice «O» che ha per base il segmento «A B» ha l'area uguale ad «s», qualunque sia la distanza della parallela «A B» da «O».

Infatti, indicando con «P», l'intersezione di «A B» con l'asse delle ordinate ed essendo, in valore assoluto $|X_A| = |X_B|$, facendo estrazione dal segno, si ha:

$$\frac{AB \cdot OP}{2} = \frac{(X_A + X_B) \cdot Y_A}{2} = X_A \cdot Y_A = s$$

Se poi si considera un segmento «C D» non perpendicolare a «O Y», ma poco inclinato rispetto alla normale, e si conduce dal punto «Q», d'incontro di «C D» con l'asse «O Y», la



[fig. 11]

perpendicolare «C' D'» a questo, si possono considerare equivalenti i due triangoli «C C' Q» e «Q D D'», per cui l'area del triangolo «O C D» si può ritenere uguale a «s».

Parimenti avviene quando «C D» è un arco di curva, potendo ritenere che la corda si confonda con l'arco, si ha che «O C D» è praticamente uguale ad «s».

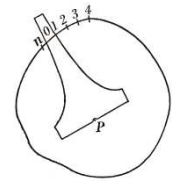
La misura dell'area con la **squadretta iperbolica** può essere eseguita o con *polo interno* o con *polo esterno*.

Con polo interno

Si pianta uno spillo in un punto «P» interno alla figura, di cui si vuole conoscere l'aria, e contro di questo si dispone il polo della squadretta, segnando, a matita, le intersezioni «0», «1» dei suoi bordi col contorno [fig. 12].

Poi si ruota la squadretta attorno al punto P, in modo di portare il primo bordo «0» a «1» e si segna in «2» la posizione dell'altro bordo; si procede in questo modo fino a percorrere tutto il contorno della figura.

Se «n» è l'ultimo tratto segnato, sul contorno, col secondo bordo, l'area della figura è uguale al prodotto «n • s», aumentato del triangoletto «n P 0», la cui area, proporzionale all'archetto «n 0», si stima a vista.



[fig. 12]

Con polo esterno

Si pianta uno spillo in un punto «P» esterno alla figura, di cui si vuole conoscere l'aria, e contro di questo si dispone il polo «P» della squadretta in modo che un bordo sia tangente in «0» alla curva e che l'altro la tagli nei due punti «1» e «1'» [fig. 13].

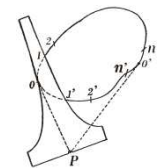
Si procede pertanto come nel caso precedente, intersecando sempre in due punti il contorno, fino a segnare gli ultimi due punti «n» e «n'», segnando inoltre il secondo punto di tangenza «0'» del bordo, col contorno.

L'area della figura è uguale alla differenza tra l'area compresa fra i raggi «P 0» e «P 0'» e il contorno superiore, e quella compresa fra i raggi «P 0» e «P 0'» e il contorno inferiore.

Queste due aree sono date dai prodotti «n • s» e «n' • s», aumentate rispettivamente delle aree dei triangoletti «n P 0'» e «n' P 0'», che si stimano a vista, in proporzione degli archetti «n 0'» e «n' 0'».

In pratica, indicando con «S» l'area della figura e comprendendo in «n» e «n'» le porzioni di archetto succitato, si ha:

$$S = n \cdot s - n' \cdot s = (n - n') \cdot s$$



[fig. 13]

I Planimetri

I **planimetri** sono strumenti che servono a misurare l'area di una figura seguendone il contorno con apposita parte dell'istrumento stesso.

Si distinguono in: **planimetri polari**, se nei movimenti dello strumento un suo punto, detto **polo**, resta fisso, **planimetri ortogonali**, se i movimenti delle diverse parti dello strumento avvengono secondo due direzioni fra loro perpendicolari.

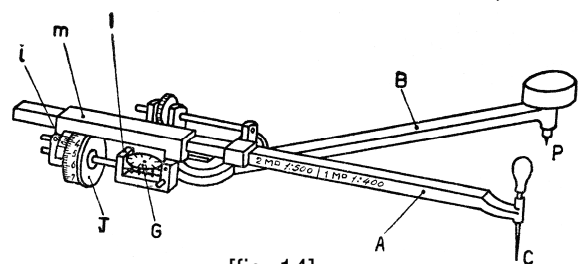
Vi sono anche **planimetri a carrello**, a **rullo**, a **regolo**, a **disco**; ma i **planimetri polari** rimangono comunque i più usati.

Il planimetro polare di Amsler

Il **planimetro polare di Amsler** è costituito da due aste metalliche e «A» e «B», unite assieme per mezzo di uno snodo [fig. 14].

L'asta «A», chiamata **braccio del segnatoio** (o **braccio motore** od anche **avambraccio**), porta all'estremo «C» un puntale, detto **segnatoio** o **calcatoio**, col quale si descrive il contorno della figura da misurare.

L'asta «B», chiamata **braccio polare**, porta all'estremo «P» una punta, detta polo, che viene fissata al disegno, tenuta ferma da un peso sovrapposto.



[fig. 14]

La lunghezza del braccio «A» può essere variata (il braccio può scorrere entro il manico «m»); il manico è unito, con lo snodo, al braccio polare in modo che quest'ultimo può ruotare liberamente attorno ad un asse normale al piano d'appoggio.

Il movimento fa ruotare una rotella «J», detta **rotella integrante**, che ruota liberamente intorno ad un asse parallelo al **braccio del segnatoio**.

La rotella poggia sul disegno e collegata sia a un disco contagiri sia ad un tamburo sul quale, tramite un nonio, si eseguono le letture con la precisione del millesimo di rotazione.

Il planimetro può essere usato in due modi: con **polo esterno** alla figura di cui si vuole calcolare l'area, con **polo interno**.

Polo esterno

Si fissa il *polo* «P» in un punto *esterno* della figura, si dispone il *segnatoio* «C» in un punto qualsiasi «A» del contorno e si esegue una lettura sia sul *contagiri* sia sul *tamburo*.

Col *segnatoio* C, si percorre tutto il contorno, della figura, fino a ritornare in A e si esegue una seconda lettura; indicando con N la differenza fra le due letture, l'area S della figura è data da:

$$S = K \cdot N \quad \text{con «K» costante strumentale}$$

Polo interno

Si fissa il *polo* «P» in un punto *interno* della figura, si dispone il *segnatoio* «C» in un punto qualsiasi «A» del contorno e si esegue una lettura sia sul *contagiri* sia sul *tamburo*.

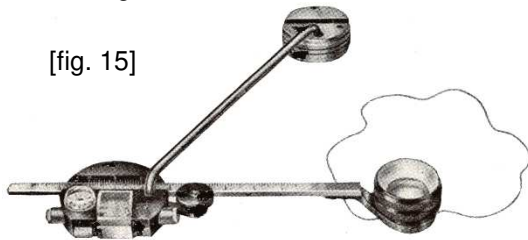
Procedendo come prima, l'area S della figura è data da:

$$S = K \cdot N + W \quad \text{con «W» seconda costante strumentale}$$

Il Planimetro polare della «Filotecnica Salmoiraghi»

Lo strumento, derivato dal *planimetro polare* di **Amsler**, contiene diverse innovazioni ed accorgimenti che lo rendono decisamente più affidabile e più preciso [fig. 15].

[fig. 15]



♦ La montatura della *rotella integrante* assicura una registrazione perfetta delle sue rotazioni, attenua l'effetto delle variazioni di temperatura.

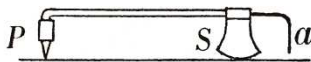
♦ Una lente d'ingrandimento rende più agevoli le letture e protegge dalla polvere la *rotella integrante*; è stato inserito un dispositivo per il riporto a zero del *sistema calcolatore*.

♦ Sull'avambraccio, la cui lunghezza è regolabile, è incisa una scala con i valori effettivi dell'unità del nonio.

♦ Il *segnatoio* è costituito da un dischetto forato di pietra dura, incastonato al vertice della superficie inferiore di una *lente d'ingrandimento*, in modo da eliminare gli errori di parallasse e di facilitare la guida del centro del foro lungo il contorno della figura.

Il Planimetro a scure

Il *planimetro a scure* ideato, nel 1875, dal capitano danese **Holger Prytz** ha una precisione inferiore del *planimetro polare* e richiede, rispetto a quest'ultimo, un tempo maggiore per la determinazione di una superficie; per contro, ha il pregio di non avere organi delicati in movimento, facili ad alterarsi, e un considerevole minor costo.



[fig. 16]

È costituito da un'asta rigida «a», le cui estremità sono piegate ad angolo retto: una di esse «P» è appuntita, ha un manico per sostenerla a mano e costituisce il *segnatoio*; l'altra «S» è a forma di scure, col proprio taglio compreso in un piano verticale che contiene anche «P» [fig. 16].

Per misurare l'area di una figura, si sceglie un punto «P» al suo interno, approssimativamente coincidente col baricentro; si traccia anche un segmento «P A» che unisca il punto «P» con un punto «A» del contorno [fig. 17].

Disposto lo strumento con il *segnatoio* in «P», si esercita una leggera pressione sulla scure, che lascerà un segno in «S».

Tenendo il manicotto del *segnatoio*, si fa percorrere, al *segnatoio*, sia il segmento «P A» sia il contorno «A B C A», ritornando al punto di partenza «P»; al termine dell'operazione, si esercita una nuova pressione sulla scure che lascerà un altro segno in «S'».

Si ripete l'operazione disponendo lo strumento nella direzione «P S₁», ottenendo due nuove impronte: «S₁», «S₁'».

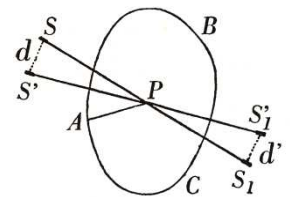
Si misurano, ora, le distanze «d», in millimetri, fra i centri delle impronte «S» e «S'» e quella «d'» fra «S₁» e «S₁'».

Indicando con l la lunghezza, in millimetri, del planimetro (la distanza fra il polo P ed il punto di mazzo del taglio della scure S), si ha che l'area A, della figura, è data, in millimetri quadrati, da:

$$A = l \cdot \frac{(d + d')}{2}$$

Di solito, si tiene: l = 250 mm

Per evitare di produrre impronte sul disegno e per ovviare all'indeterminazione nello stabilire il punto medio delle impronte, si è aggiunta un'asticciola a; nella misurazione, invece di premere la scure, si preme l'asticciola che produce un forellino.

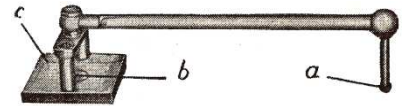


[fig. 17]

Il Planimetro di Nestler

Il *planimetro di Nestler* utilizza, al posto della scure, un piccolo disco d'acciaio «a» col bordo tagliente, girevole all'estremità inferiore di un'asticciola; il segnatoio è costituito da un forellino «b» eseguito al centro di una base quadrata «c» [fig. 18].

La lastra «c», girevole rispetto all'estremo dell'asta cui è fissata, poggia sul disegno ed è fatta scorrere, servendosi del forellino «b», lungo il perimetro della figura di cui si vuole cercare l'area.



[fig. 18]

La misura delle pendenze.

Le scale clivometriche

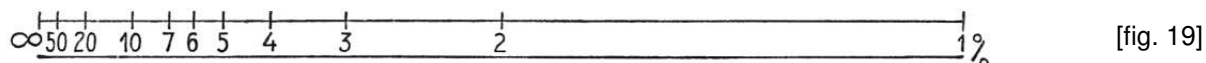
Le **scale clivometriche** sono quelle scale sulle quali si possono leggere o le *pendenze percentuali* o l'*inclinazione in gradi* del terreno rappresentato, sulla Carta, con le *curve di livello* o **isoipse**, in corrispondenza della distanza planimetrica di due di queste.

Nota

Ogni **scala clivometrica** è relativa ad una data *scala della Carta* e ad una data *equidistanza* fra le curve di livello.

La scala clivometrica rettilinea

La **scala clivometrica rettilinea** è, in pratica, un diagramma rettangolare stampato su un supporto trasparente ed indeformabile sul quale (sul lato superiore) sono tracciati alcuni indici di riferimento che indicano o la *pendenza percentuale* o l'*inclinazione*; nel nostro caso



indicano la *pendenza percentuale* [fig. 19].

L'uso della scala è intuitivo; volendo conoscere la *pendenza percentuale* fra due punti «A» e «B» posti su due curve di livello consecutive, si dispone la scala con l'origine «∞» (il vertice inferiore sinistro) sul punto «A», di una curva di livello, e si fa intersecare la prima linea orizzontale (il lato superiore) con la seconda curva di livello, nel punto «B».

Si legge quindi il valore cercato in corrispondenza degli indici di riferimento; nel caso il punto «B» cada fra due indici, si dovrà procedere per interpolazione.

Nota l'*equidistanza* «e», espressa in metri (costante su ogni Carta), la lunghezza reale «d», espressa in metri, della proiezione del segmento della pendenza, si ottiene, in funzione sia dell'*inclinazione* «α» sia della *pendenza percentuale* «p%», dalle equazioni:

$$\text{per le inclinazioni } d = \frac{e}{\tan \alpha}, \quad \text{per le pendenze percentuali } d = \frac{e \cdot 100}{p\%}$$

La lunghezza in Carta «n», espressa in millimetri, della proiezione del segmento della pendenza, si ottiene, in funzione del denominatore della scala «s», alla quale è stata allestita la Carta, dall'equazione:

$$n = \frac{d}{s}$$

Nel caso sia «e = 25 m» e «s = 25 000», si avrà:

Considerando le inclinazioni fino a: 85°

a°	1°	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°
P%	1,746	8,749	17,633	26,795	36,397	46,631	57,735	70,021	83,910
n «mm»	57,3	11,4	5,7	3,7	2,7	2,1	1,7	1,4	1,2

a°	45°	50°	55°	60°	65°	70°	75°	80°	85°
P%	100,000	119,175	142,815	173,205	214,451	274,748	373,205	567,128	1143,005
n «mm»	1,0	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1

[tab. 01]

Considerando le pendenze percentuali fino a: 1000%

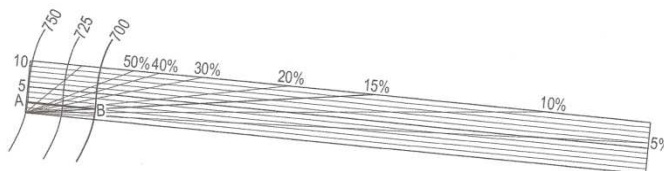
P%	1%	5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%
α°	0,57	2,86	5,71	8,53	11,31	14,04	16,70	19,29	21,80
n «mm»	100	20	10	6,7	5	4	3,3	2,8	2,5

P%	45%	50°	60%	80%	100%	200%	300%	600%	800%
α°	24,23	26,56	30,96	38,66	45,00	63,43	71,56	80,54	82,87
n «mm»	2,2	2,0	1,7	1,2	1,0	0,5	0,3	0,2	0,1

[tab. 02]

Alcune *scale clivometriche* sono costruite per conoscere la *pendenza percentuale*, o l'*inclinazione*, fra punti posti su curve di livello non adiacenti; in esse sono tracciate alcune linee parallele distanziate, dalla base, un multiplo intero dell'*equidistanza* «e» delle curve di livello.

Dal vertice inferiore sinistro s'irraggiano delle linee oblique che corrispondono ai valori o di *pendenza percentuale* o d'*inclinazione*.



[fig. 20]

Sul lato verticale sinistro sono indicati i multipli dell'equidistanza in modo da poter ricavare anche la pendenza media fra più curve di livello.

In [fig. 20] è rappresentata una scala clivometrica nella quale sono indicate le curve riguardanti le *pendenze percentuali*; anche in questo caso, l'uso della scala è intuitivo;

Nel caso nessuna linea indicata espressamente passasse per il punto «B», si dovrà interpolarla fra le curve tra cui il punto «B» è compreso.

Nel nostro caso si è voluto trovare la *pendenza percentuale media* fra due punti posti su due curve di livello non consecutive (due equidistanze).

Posto l'origine sul primo punto di una delle curve di livello, si è pertanto considerata la seconda linea orizzontale, indicata con «A», relativa, appunto, a due equidistanze; la lettura fornisce una *pendenza percentuale* del 15%.

Come si evince dall'esempio, individuando il punto «B» in modo da minimizzare la distanza «AB», fra due curve di livello consecutive, si può ricavare il valore della massima pendenza.

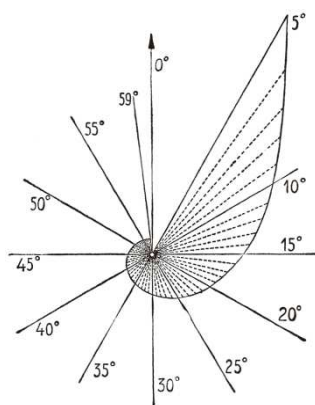
La scala clivometrica curvilinea

La *scala clivometrica curvilinea*, o *scala clonometrica curvilinea*, è generalmente costruita per fornire l'angolo d'inclinazione; la pendenza si ricava dalla formula:

$$p\% = \tan \alpha \cdot 100$$

In cui: « α » è l'angolo d'inclinazione, generalmente espresso in gradi sessagesimali.

Lo strumento è costituito da un diagramma polare, stampato su di un supporto e trasparente ed indeformabile, nel quale, fissato un raggio origine «0°» si tracciano i raggi polari, ad esempio sia ogni cinque gradi (5°) sia in senso antiorario.



[fig. 21]

Volendo rappresentare l'inclinazione « α » sia fino a 60°, vedi anche [tab. 01], sia di 5° gradi in 5° gradi, si divide l'angolo giro « 2π » in 12 parti ($60^\circ / 5^\circ = 12$).

Fissato un *raggio origine*, si numerano tutti gli altri, nel nostro caso in senso orario, di 5° in 5°.

Con origine nel polo, si staccano, su ciascun raggio, le distanze «n», calcolate come in [tab. 01], ed infine si congiungono gli estremi ottenendo una curva spiraleforme che rappresenta il diagramma polare della scala clivometrica [fig. 21].

Per conoscere l'inclinazione del terreno, fra due curve di livello consecutive, si aprono le due punte di un compasso di un'ampiezza pari al segmento di massima pendenza, compreso fra le due curve, e, centrando, con una punta, nel polo della scala, s'interseca, con

l'altra punta, la curva spiraleforme del diagramma.

Se l'intersezione corrisponde ad uno dei raggi indicati, si legge l'angolo d'inclinazione direttamente su di esso; in caso contrario, si ottiene, il valore cercato, per interpolazione proporzionale, per quanto ciò sia lecito solo approssimativamente.

Lo Scarpometro

Lo *scarpometro* (o *inclinometro*) è utilizzato per misurare o la scarpata o l'inclinazione di una superficie a forte inclinazione [fig. 22].

È sprovvisto di un mezzo di collimazione, poiché è poggiauto direttamente sulla superficie di cui si vuole misurare l'inclinazione.

Lo scarpometro è, in genere, è fornito di una livella torica disposta su una base piana, differente da quella dello strumento, e di un'armatura articolata ad un estremo, in modo che lo strumento possa assumere inclinazioni diverse rispetto alla base d'appoggio.

L'altro estremo della livella scorre sulla guida di un indice graduato; quando l'indice è a zero «0», l'asse della livella è parallelo alla superficie della base.

È usato poggiauto la sua base sulla superficie di cui si vuole misurare l'inclinazione e si ruota la livella fino a centrare la bolla; a questo punto, con l'indice si fa la lettura sulla graduazione.

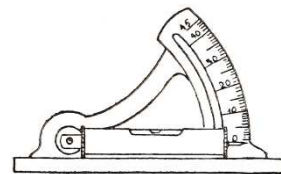


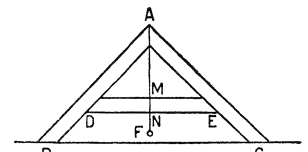
fig. 22

Strumenti per ottenere e l'orizzontalità e la verticalità

L'Archipendolo

L'**archipendolo** o **archipenzolo** era usato, come in un secondo tempo sarà usata la livella, per verificare l'orizzontalità o di rette o di piani (per questi ultimi si doveva disporre lo strumento in due posizioni ortogonali fra loro).

È costituito da due regoli uguali di legno «AB» e «AC» uniti ad angolo retto e rinforzati dalla traversa «DE»; sul vertice «A» è sospeso un filo a piombo che si sovrapporrà alla linea di fede «MN» solo nel caso «B» e «C» siano su una linea orizzontale [fig. 23].

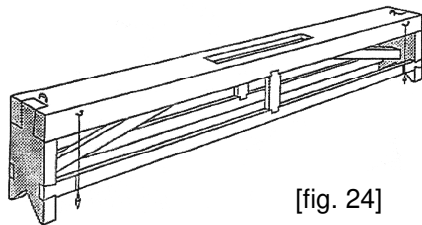


[fig. 23]

A rigore, l'archipendolo non dovrebbe stare fra gli strumenti che misurano pendenze, poiché misura soltanto l'orizzontalità o meno, ma questo era il posto meno sbagliato per presentarlo.

Il Chorobates

Il **choronates** (Corobate) era un livello di notevole precisione che era usato, dai romani, prevalentemente per la livellazione di acquedotti [fig. 24].



[fig. 24]

Dalla descrizione fornitaci da Vitruvio Pollione (primo secolo aC) si deduce che era costituito da un regolo di legno lungo 20 piedi (≈ 6 m) in cui, nella parte superiore, vi era un canaletto lungo 5 piedi ($\approx 1,5$ m), largo e profondo 1 dito ($\frac{1}{16}$ di piede, $\approx 1,85$ cm); il regolo era fissato a due sostegni ad esso perpendicolari.

Sfruttando lo stesso principio dell'archipendolo, alle estremità del regolo erano sospesi due fili a piombo, con re-

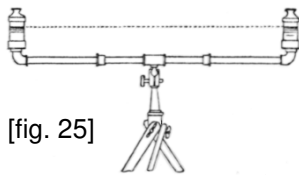
lative linee di riferimento.

In caso di vento, situazione in cui diventava problematico l'uso del filo a piombo, il canaletto era riempito d'acqua e lo strumento poteva essere messo perfettamente orizzontale facendo in modo che i bordi del canaletto fossero tutti egualmente sfiorati dalla superficie del liquido.

Il Livello a tubo comunicante

Il **livello ad acqua** o **livello a bicchieri** si basa sul principio fisico che le superfici libere di un liquido a riposo, contenuto in due vasi comunicanti, giacciono sullo stesso piano orizzontale, per cui una retta che appartiene a questo piano è anch'essa orizzontale.

Il **livello a tubo comunicante** è comunemente costituito da un tubo in ottone lungo da 1 m a 1,5 m, fissato nel suo punto centrale, ad un manico cavo che s'innesta nella sommità conica del perno di un treppiede [fig. 25].



[fig. 25]

Le due estremità del tubo sono piegate ad angolo retto, verso l'alto, e collegate a due bicchieri di vetro; lo strumento è scomponibile in più parti in modo da poterlo riporre in una cassetta apposita.

Lo strumento è utilizzato disponendo il tubo, su di un treppiede, in una posizione approssimativamente orizzontale e versando acqua, al suo interno, finché risalga all'interno dei due bicchieri, circa a metà della loro altezza; la visuale tangente alla superficie libera dell'acqua, nei due bicchieri, risulta orizzontale.

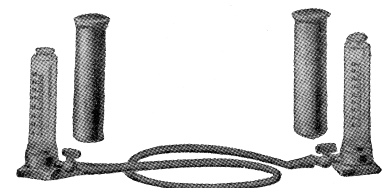
Il livello a tubo flessibile

Il **livello a tubo flessibile**, basato sullo stesso principio del precedente, è costituito da due bicchieri in vetro, collegati da un tubo flessibile o in gomma o in plastica che è riempito d'acqua fino a farla apparire nei due bicchieri; può essere utilizzato per eseguire battute fino a 40 m, con un errore temibile di 20 mm [fig. 26].

I due bicchieri sono posti nei due punti, fra i quali si vuole conoscere la differenza di livello, a fianco di un'asta graduata o di una canna metrica.

In corrispondenza dei due menischi si leggono, su ciascuna delle due aste graduate, le rispettive altezze, della superficie libera dell'acqua, dal terreno.

Questo livello è utilmente utilizzato nelle comuni livellazioni di cantiere, nei livellamenti sotterranei e nei luoghi in cui non è possibile montare un treppiede per il sostegno di un altro tipo di livello.



[fig. 26]

Le livelle a bolla

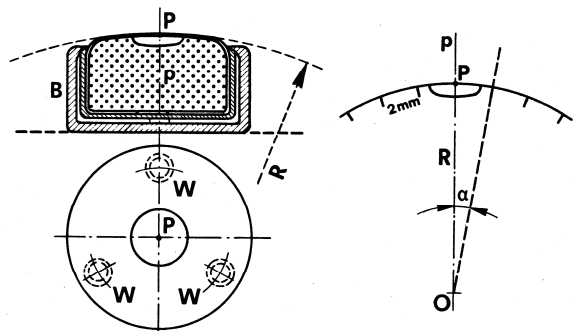
Le **livelle a bolla** sono dispositivi che si applicano agli strumenti sia topografici sia geodetici per verificare od ottenere o la verticalità o l'orizzontalità di rette e l'orizzontalità di piani; con esse si può ottenere l'altissima precisione richiesta dai migliori strumenti.

Curiosità

In **Massoneria**, il simbolo della livella, è utilizzato per indicare l'uguaglianza fra tutti i fratelli.

La Livella sferica

La **livella sferica** è costituita da un bulbo di vetro, ermeticamente chiuso, riempito non completamente da un liquido incongelabile, alle temperature terrestri, come ad esempio: etere, alcol, ecc., in modo che rimanga, all'interno del bulbo, una bolla di gas.



[fig. 27]

La parte della superficie superiore, del bulbo, è lavorata internamente a forma di **calotta sferica**, di raggio «R», e porta inciso un parallelo di questa calotta sferica (un circoletto di pochi millimetri di diametro) rispetto al punto centrale indicato come «P» [fig. 27].

In queste condizioni, la bolla di gas si disporrà, per legge fisica, sempre nella parte più alta della calotta sferica del bulbo.

Dalla enunciazione della **sensibilità della livella**, definita come: **l'angolo «α» di cui deve ruotare l'asse della livella, in un piano verticale, affinché la bolla si sposti di 2 mm**, si e-

vince che minore è l'angolo «α» maggiore è la sensibilità; possiamo, pertanto, esprimerci numericamente e, con «R» raggio, in millimetri, della **calotta sferica**, si ha in radianti:

$$\alpha = \frac{2}{R}$$

oppure:

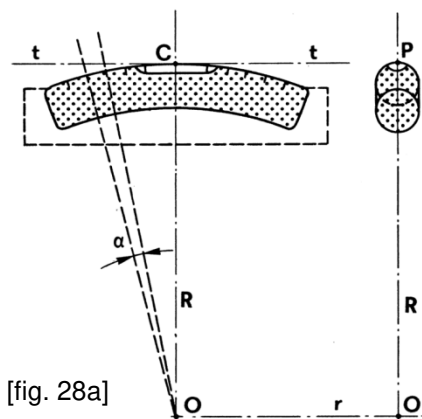
$$\alpha'' = \frac{2}{R} \cdot 206\,265,81$$

$$\alpha^{cc} = \frac{2}{R} \cdot 636\,619,77$$

Per varie ragioni, fra le quali il diametro eccessivo che ne risulterebbe, non si costruiscono livelle sferiche di elevata sensibilità; comunemente la loro sensibilità resta nel campo (range, per chi preferisce i termini inglesi) compreso fra 4' ÷ 8', con un raggio, «R» della calotta sferica, compreso fra circa 100 m e circa 50 m.

La Livella torica

La **livella torica**, o **livella toroidale**, è costituita da una fiala in vetro, che contiene e liquido e bolla, lavorato con grande precisione a forma di segmento di toro; la superficie generata dalla rotazione di una circonferenza attorno ad una retta «r», giacente nello stesso piano, che le sia esterna [fig. 28a], [fig. 28b].



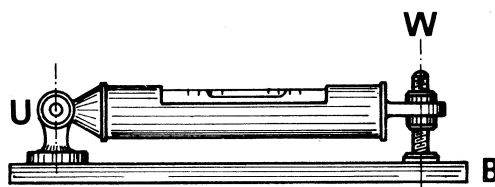
[fig. 28a]

L'arco descritto da un generico punto «P» della circonferenza, opposto alla retta, è detto **arco direttore della livella** e il suo raggio «R» è detto **raggio di curvatura della livella**.

Perpendicolarmente all'**arco direttore** è tracciata una gradazione, con i tratti distanziati di due (2) millimetri, simmetrica rispetto al **punto centrale «C»** dell'**arco direttore**, a partire da una certa distanza da «C» (5 mm ÷ 15 mm); la tangente «t», all'arco direttore in «C», è detta o **tangente centrale** o **asse della livella**.

Quando si centra la bolla, fra i tratti simmetrici della gradazione, l'asse della livella risulta orizzontale per la nota legge fisica.

Costatato che i tratti della gradazione sono distanziati, fra loro, di due (2) millimetri, si definisce **sensibilità della livella torica**: **l'angolo «α» di cui la livella deve ruotare, mantenendo l'arco direttore nel suo piano, affinché la bolla si sposti di una parte**.

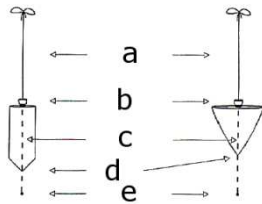


[fig. 28b]

Le *livelle toriche* sono, generalmente, molto più sensibili delle *livelle sferiche*, arrivando fino alla sensibilità di «1"» per le quali il *raggio di curvatura* «R» è pari a circa «410 m»; la superficie interna, delle livelle toriche, deve pertanto essere lavorata con grande precisione.

II Perpendiculum

Il **perpendiculum** serviva ad indicare la verticale; era formato da un filo cui era sospeso un peso, generalmente a forma piramidale, per conferirgli maggiore stabilità e ridurre le oscillazioni [fig. 29].



Leggenda:

- «a» filo
- «b» aggancio con forellino
- «c» asse verticale
- «d» punta
- «e» punto su cui si sospende il piombo

[fig.29]

Questo strumento ha un'origine remota; si ritiene, infatti, che sia un'invenzione di **Dedalo di Sicione** (IV secolo aC).

Il filo a piombo, com'è chiamato il **perpendiculum**, è utilizzato ancor oggi, anche se molto meno frequentemente.

Strumenti allineatori

Gli allineamenti

Si dice **allineamento**, l'intersezione, o la traccia sul terreno, del *piano verticale* individuato dalle *verticali* passanti per due punti.

Per rendere meglio visibile l'allineamento, si dispongono, sul terreno, o picchetti o pali-ne o biffe; a tal uopo sono utilizzati strumenti semplici, generalmente usati ad occhio nudo, chiamati appunto strumenti allineatori, che possono essere: a traguardi, a specchi, a prismi, a cannocchiale.

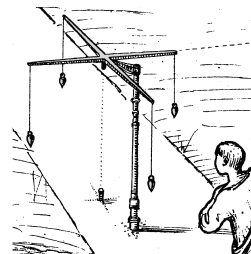
Il croma

Il **croma** o **la crociera da rilevamento** è uno squadra utilizzato sia dai **Greci** sia dai **Romani**, che ne fecero largo uso [fig. 30].

Proprio durante l'epoca romana, **la croma** assunse sempre maggiore importanza subendo ripetuti perfezionamenti sì da acquisire una nuova fisionomia.

La tipologia *più recente* consisteva in due bracci in legno di uguale lunghezza, fissati ad angolo retto nel loro punto medio, con dei rinforzi metallici in ogni terminale; a questi ultimi erano fissate delle cordicelle che portavano appesi dei pesi di piombo.

Il tutto doveva essere sostenuto da un'asta di supporto dotata di puntale per essere infissa nel terreno, lunga circa due metri, che permetteva di traguardare, essendo collegata alla croce in posizione eccentrica, senza alcun impedimento.



[fig. 30]

L'allineatore

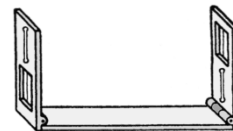
L' **allineatore a traguardi reciproci** [fig. 31] (l'**allineatore a traguardi semplice** è, in pratica, identico al precedente, ma è privo delle due mire superiori), è uno strumento e pratico nel trasporto ed essenziale nell'uso.

Le dimensioni «d» che deve avere il segnale affinché sia sicuramente visibile, ad occhio nudo, da una distanza «D», sono date dalla formula:

$$d = 0,0004 \cdot D$$

Se l'osservazione è effettuata per mezzo di uno strumento ottico che fornisce un ingrandimento I, si può ridurre le dimensioni del segnale:

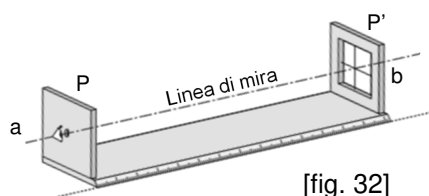
$$d = 0,0004 \cdot \frac{D}{I}$$



[fig. 31]

La diottra

La diottra è uno strumento che serve a determinare una visuale; l'astronomo greco



[fig. 32]

Claudio Tolomeo (100 dC circa – 175 dC circa) nell'**Almagesto** ne attribuisce l'ideazione all'astronomo greco **Ipparco di Nicea** (200 aC? – 120 aC?) che lo utilizzò per determinare i diametri e del Sole e della Luna.

Pappo d'Alessandria (IV secolo dC) descrive lo strumento come una guida scanalata lunga quattro cubiti (circa 2 m) dove sono montate due pinnule rettangolari: P, P'.

Al centro della prima «P» (oculare), fissa a un estremo della guida, vi è un piccolo foro d'osservazione «a»; nella seconda, scorrevole lungo la scanalatura, sono tesi due sottili fili incrociati «b».

Puntato lo strumento, si sposta avanti e indietro la pinnula mobile «P'» finché il disco o del Sole o della Luna copre esattamente il diametro della finestrella sagomata in esso; il rapporto fra il diametro dell'apertura della pinnula mobile «P'» e la sua distanza dalla pinnula fissa «P» permette di calcolare l'angolo sotteso dal corpo celeste.

Lo squadra agrimensorio

Lo **squadro agrimensorio sferico** è particolarmente idoneo a guidarsi visuali molto inclinate all'orizzonte.

È un bossolo sferico cavo che presenta, lungo i meridiani, delle fenditure le quali, a due a due, si trovano su di uno stesso piano passante per il centro del bossolo; i piani relativi sono ad angolo retto «90°» e a «45°», e tutte le fenditure possono servire e da oculari e da obiettivi [fig. 33].

È utilizzato per il tracciamento di allineamenti ad angolo determinato: 45°, 90°, 180°, facendo corrispondere il segnale in mezzo alle fenditure.

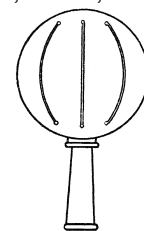
Per l'uso dello strumento, sostenuto generalmente da un treppiede (anche da un bastone), devono essere soddisfatte tre condizioni:

- ♦ i piani di traguardo devono essere perfettamente ortogonali.
- ♦ ciascun piano di traguardo deve contenere l'asse dello squadro.
- ♦ l'asse del bossolo deve essere perfettamente verticale.

I risultati ottenuti dipendono e dalla larghezza dei traguardi e dal raggio del bossolo; negli squadri ordinari, il raggio interno del bossolo è: $r = 0,0425 \text{ m}$; pertanto, l'**errore di collimazione** risulta dalla formula:

$$E_C = 0,00118 \cdot D$$

con «D» distanza di collimazione



[fig. 33]

Lo squadro a prisma-squadro di Wollaston

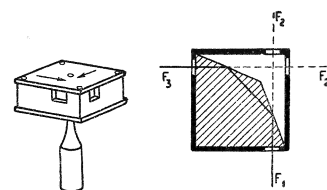
Lo **squadro a prisma-squadro di Wollaston** (molto simile allo **squadro a prisma di Bauerjeinnd**) serve, come il suo simile, al tracciamento di allineamenti ortogonali [fig. 34].

Il prisma (in grigio nel disegno) ha una sezione retta pari ad un quarto di un ottagono regolare, vale a dire un quadrilatero in cui due lati sono uguali fra loro e comprendendo l'angolo retto; gli altri due, parimenti uguali, comprendono l'angolo di 135°.

Poiché la doppia riflessione avviene nelle due facce del prisma che contengono l'angolo di 135°, la direzione del **raggio incidente** forma, con la direzione del **raggio emergente**, un angolo di 90°.

Il prisma di **Wollaston** presenta il vantaggio, rispetto ad altri strumenti simili, di fornire immagini sempre per riflessione totale, pertanto molto luminose poiché alla loro formazione concorrono tutti i raggi che incontrano la faccia riflettente.

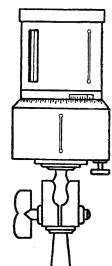
Si può osservare che la deviazione dei raggi luminosi è uguale all'angolo compreso fra le facce su cui avviene l'incidenza e l'emergenza; questa proprietà è comune a tutti i prismi.



[fig. 34]

Lo squadro graduato

Lo squadro graduato può essere considerato il goniometro più semplice, di uso comune nelle operazioni planimetriche [fig. 35].



[fig. 35]

Lo strumento è costituito da due cilindri cavi coassiali; le due parti sono libere di ruotare, l'una rispetto all'altra, per mezzo di una vite a cremagliera interna.

Il cilindro inferiore, che porta incisa una scala graduata, generalmente in gradi sessagesimali, è sorretta da un manico metallico snodabile; quest'ultimo serve per fissare lo strumento ad un treppiede.

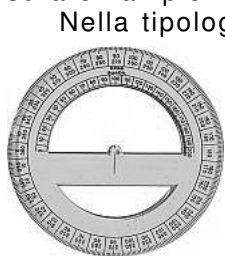
Il cilindro superiore è munito di un indice di lettura, a nonio, con l'approssimazione di 2'.

I due cilindri hanno piani di traguardo sia ortogonali sia a 45°; uno di questi traguardi contiene lo zero della graduazione del lembo inferiore, mentre, nel cilindro superiore, uno di questi piani di traguardo, contiene lo zero della graduazione dello zero del nonio.

Strumenti per la misura degli angoli azimutali (orizzontali)

Il goniometro

Il **goniometro**, dal greco *gonos*, ovvero *angolo*, e *metron*, ovvero *misura*, serve per misurare l'ampiezza degli angoli [fig. 36]



[fig. 36]

Nella tipologia più semplice è costituito da un cerchio (o un semicerchio) con la circonferenza graduata e un puntatore al centro di quest'ultima; centrando il puntatore sull'origine dell'angolo, e facendo coincidere lo zero della gradazione su un lato, si può rilevare il valore dell'angolo leggendo la posizione dell'altro lato lungo la circonferenza graduata.

I goniometri da ufficio e per il disegno tecnico sono realizzati in plastica trasparente, onde facilitare la lettura della posizione dei lati attraverso lo strumento stesso; questi, pur di scarsa precisione, sono peraltro economici.

Nei goniometri più semplici, la scala è realizzata, sulla circonferenza preventivamente smussata per ridurre al minimo errori di parallasse durante la lettura; questa inoltre è realizzata incidendo preventivamente la superficie, e colorando l'interno dell'incisione stessa, in questo modo si evita che abrasioni accidentali possano cancellarla.

Normalmente questi goniometri dispongono di una scala espressa o in gradi sessagesimali ($0^\circ - 360^\circ$ o $0^\circ - 180^\circ$) o in gradi centesimali ($0^g - 400^g$ o $0^g - 200^g$) con risoluzione o di 1° o di 1^g ; solo nei modelli di grandi dimensioni è possibile risolvere a occhio nudo scale con divisioni o di $0,5^\circ$ o di $0,5^g$.

La bussola topografica



[fig. 37]

La **bussola topografica** a cannocchiale è generalmente costituita da un basamento a tre viti calanti, dotato di livella sferica, sul quale è imperniata l'alidada, formata da una scatola cilindrica coperta da un vetro, entro cui è situato il cerchio graduato al cui centro è fissato il perno su cui è sospeso l'ago calamitato; la gradazione, del cerchio graduato, è generalmente divisa in mezzi gradi ($0,5^\circ$) per cui, a stima, si può valutare il quarto di grado ($15'$).

L'alidada, provvista di vite d'arresto e di vite di richiamo, sostiene il cannocchiale che può essere o in posizione centrale, come in [fig. 36], o in posizione eccentrica; Il cannocchiale, provvisto di vite di arresto e vite di elevazione, è altresì provvisto di una livella torica [fig. 37].

Il cannocchiale, molto spesso costruito in modo da essere capovolgibile, può esse o soltanto collimatore o anche distanziometro; in questo caso lo strumento è provvisto anche o di un cerchio verticale, o di un settore eclimetrico.

La bussola da miniera

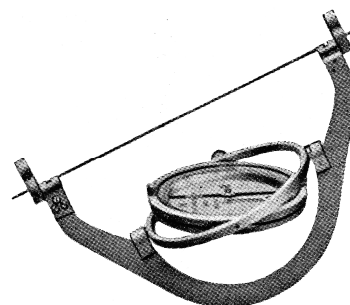
La **bussola da miniera** o **bussola da minatore** o bussola **a sospensione** è stata ideata per il rilevamento di gallerie in ambienti ipogei (sotterranei); è costituita da un involucro cilindrico al cui interno vi è collocato il cerchio graduato e vi è sospeso l'ago calamitato [fig. 38].

L'involucro è imperniata ad un anello e quest'ultimo è imperniata ad una staffa i cui bracci terminano con due ganci per mezzo dei quali lo strumento è sospeso ad una funicella, tesa fra due punti.

In questo modo si ha che la bussola si disporrà sempre in posizione orizzontale, anche quando la funicella sia inclinata, visto che il centro di gravità dell'involucro si trova ad una quota inferiore ai ganci e che il sistema dei perni costituisce un *giunto cardanico*.

La lettura che si esegue con la punta *nord* dell'ago calamitato, ha ragione che è il centro dell'ago e la direzione **nord-sud**, del cerchio graduato, sono sul piano verticale che contiene la funicella, è l'azimut magnetico della direzione individuata dalla funicella.

La **bussola da minatore** è usata assieme all'*eclimetro a sospensione*, che vedremo un poco più avanti, alla pagina seguente.

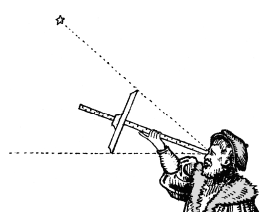


[fig. 38]

Strumenti per la misura degli angoli zenitali (verticali)

L'arbalestro

L'**arbalestro** o **bastone di Giacobbe** o **bastone di Al-tusi** è uno strumento di misura a forma di croce, che veniva usato nel *medioevo* per misurazioni e nautiche ed astronomiche [fig. 39].



[fig. 39]

La sua invenzione è attribuita a **Levi ben Gershon** (1288-1344), studioso ebreo che visse in Provenza, nel sud della Francia, chiamato anche **Gersonide**; lo strumento è descritto nel suo libro scritto in ebraico **Il Libro delle Guerre dei Signori**.

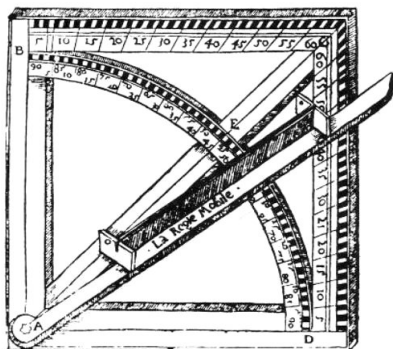
Una riga corta in legno, di lunghezza nota, può scorrere ortogonalmente su di un'altra riga lunga (era consigliata una lunghezza di circa 1.5 m), ugualmente di legno, divisa in parti.

Si disponeva lo strumento in modo che, ponendo l'occhio ad un'estremità della riga lunga, la linea di visuale orizzontale sfiorasse l'estremo inferiore della riga corta e la linea di visuale, che partiva dall'occhio verso una lontana stella, sfiorasse l'estremo superiore della riga corta.

Dalla posizione della riga corta sulla divisione della riga lunga si poteva risalire all'angolo formato dalle due direzioni.

Il quadrato geometrico

Il **quadrato geometrico**, di antichissima origine, è uno strumento per rilevamento e astronomico e topografico e militare derivato dall'astrolabio di cui riproduce, in forma ingrandita, solo il quadrato delle ombre diviso in 12 parti per lato; era destinato esclusivamente alle misurazioni terrestri [fig. 40].



[fig. 40]

Le sue dimensioni potevano raggiungere anche due braccia per lato (circa 120 cm); all'angolo formato dai lati opposti a quelli delle ombre (ove è riportata la gradazione) era impernata una linda (il visore con traguardi) che simulava l'inclinazione del raggio solare.

Intersecando il lato anteriore dello strumento, la linda segnava l'ombra gettata da un ipotetico gnomone orizzontale rappresentato dal lato superiore; intersecando il lato inferiore, essa indicava invece l'ombra retta gettata da un ipotetico gnomone verticale rappresentato dal lato posteriore.

Dato il rapporto tra ombre e gnomoni, era talvolta chiamato o gnomone o strumento gnomonico.

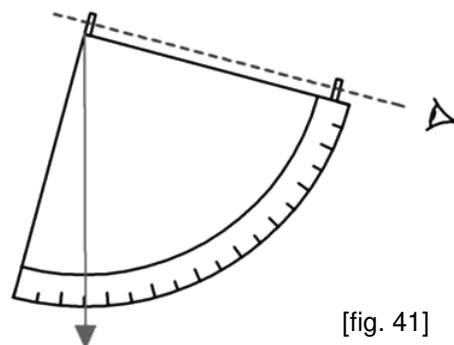
Il quarto di cerchio

Il **quarto di cerchio** o **quadrante** è uno strumento che può essere utilizzato per misurare l'altezza angolare di un corpo celeste rispetto alla linea dell'orizzonte; esso ha una forma di quarto di cerchio, per misurare il valore di un angolo da 0° a 90° [fig. 41].

Lo strumento può ruotare in modo che, per mezzo di un sistema di collimazione, con uno dei suoi due lati sia possibile travedere l'astro, e quindi leggere l'angolo rispetto ad un *filo a piombo*, utilizzato come *indice* di misurazione.

L'origine viene fatta risalire ai **Caldei** ed ai **Babilonesi**; **Tolomeo** nel II secolo dC conosceva già questo strumento, ma prima di lui ne avevano fatto uso **Ipparco di Nicea** ed **Eratostene**.

Esiste semplice una formula che associa e l'altezza del Sole «h», e la latitudine del luogo «φ», e la declinazione solare «δ», all'angolo al Polo «ξ» che ci indica il valore in gradi di quanto il Sole, mentre avviene la misurazione, dista dalla culminazione sul meridiano geografico locale:



[fig. 41]

$$\xi = \arccos \cdot \frac{\sin h \cdot \sin \varphi \cdot \sin \delta}{\cos \varphi \cdot \cos \delta}$$

L'ottante

L'**ottante** o **quadrante riflettente** è uno strumento di tipo riflettente ed era usato, al tempo dei grandi lavori dell'italiano **Giovanni Domenico Cassini** (1625 – 1712), in navigazione per l'osservazione di stelle molto vicine allo zenit; Il nome *ottante* deriva dal latino *octans* che significa *ottava parte di un cerchio*, poiché l'arco di misurazione dello strumento è pari all'ottava parte ($\pi/8$) di un angolo giro, pari a «45°» [fig. 42].



[fig. 42]

L'**ottante** fu sviluppato, intorno al 1730, da due persone, ed indipendentemente e contemporaneamente l'una dall'altra: dal matematico inglese **John Hadley** (1682-1744), dall'ottico di filadenfio **Thomas Godfrey** (1704-1749).

Nel 1767, la prima edizione del «**The Nautical Almanac intitolata 'Method of Lunar Distances'**», consentiva ai navigatori di calcolare l'ora locale tramite la misurazione dell'angolo fra il sole e la luna.

Per metà del tempo però, quest'angolo è maggiore di 90° e non è quindi possibile misurarlo servendosi di un ottante; per questa ragione, l'ammiraglio John Campbell, che portò avanti degli esperimenti con il metodo della distanza lunare, suggerì la costruzione di uno strumento dalla scala più grande e, pertanto, venne sviluppato il **sestante**.

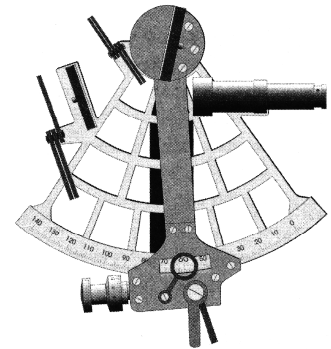
Il sestante

Il **sestante** è costituito da un settore circolare di circa 70° (il suo nome deriva appunto dall'essere il settore, circa la sesta parte ($\pi/6$) di un angolo giro [fig. 43].

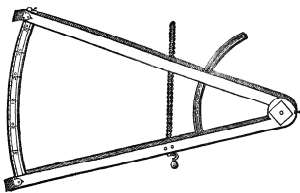
Al centro, del settore, è imperniata un'alidada costituita da un'asta (provvista di viti d'arresto e di richiamo) alla cui estremità è fissato un nonio che scorre, a contatto, con la graduazione; l'alidada porta uno specchietto, detto **specchio mobile**, disposto perpendicolarmente al piano del settore graduato; l'asse di rotazione dell'alidada e lo zero del nonio appartengono allo stesso piano in cui giace la superficie speculare dello specchio mobile.

Rispetto all'**astrolabio** il **sestante** ha il vantaggio, come peraltro avviene anche per l'**ottante**, che è possibile *traguardare* un oggetto rispetto all'orizzonte, piuttosto che in relazione allo strumento, consentendo una misura più precisa.

Nel momento in cui l'orizzonte e l'oggetto celeste sono *traguardati* in realtà sono fermi, l'uno rispetto l'altro, anche se l'imbarcazione si sta muovendo; questo avviene in quanto la collimazione dei due punti avviene tramite la riflessione di due specchi che sottraggono il moto causato dalla nave.

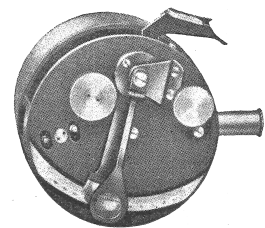


[fig. 43]



Sestante del XVII secolo

Sestante del XX secolo



Due francobolli raffiguranti il sestante.



Isole Fær Øer

Monaco 1971



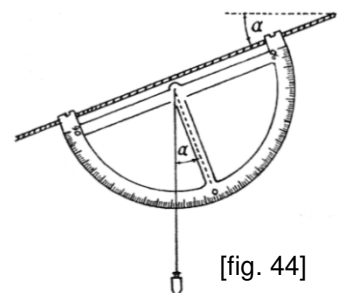
L'eclimetro a sospensione

L'**eclimetro a sospensione**, usualmente utilizzato nelle gallerie ipogee, serve per misurare l'inclinazione della funicella rispetto all'orizzontale [fig. 44].

Nota la lunghezza «s» della funicella e nota la sua inclinazione «α», la distanza planimetrica (orizzontale) «D» fra i suoi due estremi è data da:

$$D = s \cdot \sin \alpha$$

Lo strumento è costituito da un semicerchio graduato, dotato di due ganci per poterlo sospendere ad una funicella; la gradua-



[fig. 44]

zione ha lo zero «0» nel punto medio e il suo valore aumenta, da «0°» a «90°», nei due sensi.

Quando l'eclimetro è sospeso alla funicella, la lettura che si esegue in corrispondenza del filo a piombo, sospeso al centro del semicerchio, fornisce l'inclinazione della funicella; nel nostro caso si leggerebbe: $\alpha = 36^\circ$.

Anche se la funicella è molto ben tesa, non si dispone lungo una retta, ma secondo una curva che si chiama *catenaria*, per cui la lettura all'eclimetro non è attendibile.

Osservazioni

Si potrebbe obiettare che essendo la *tangente* della *catenaria*, nel suo punto di mezzo, sensibilmente parallela alla sua corda, sospendendo lo strumento nel punto medio della funicella, la lettura darebbe, con ottima approssimazione, l'inclinazione richiesta.

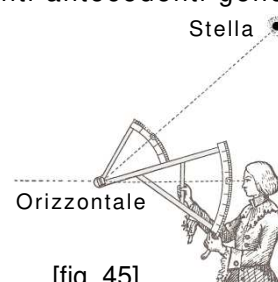
In verità, il peso dell'eclimetro provocherebbe una variazione nella forma della curva secondo cui si dispone la funicella (*catenaria deviata*), per cui alla lettura eseguita occorrerebbe apportare una correzione variabile a seconda dell'inclinazione della funicella.

Solitamente si deduce l'inclinazione della funicella dalla media di due misure eseguite a circa 20 cm dagli estremi; anche questa media è però affetta da errore, per cui si ricorre a specifiche tabelle che forniscono la correzione da apportare, sempre in aggiunta.

Il quarto inglese

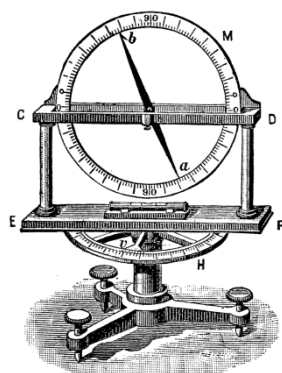
Praticamente tutti gli strumenti sono un perfezionamento di strumenti antecedenti generalmente e meno complessi e meno precisi.

Dall'astrolabio si passò, attraverso un perfezionamento dell'arabastro, all'ottante e poi ai primi sestanti nei quali prima si inserì lo specchio poi si sostituì la traversa scorrevole con due archi graduati: **il quarto inglese** [fig. 46]; si giunse, infine, e alla doppia riflessione ed all'unico arco graduato degli odierni sestanti [fig. 45].



La bussola d'inclinazione

La **bussola d'inclinazione** o **inclinometro magnetico** è stato ideato dal marinaio inglese **Robert Norman** intorno al 1576; è stato impiegato fino a tutto il XIX secolo, e nei laboratori e nelle spedizioni scientifiche, per lo studio del campo geomagnetico [fig. 46].



[fig. 46]

Lo strumento misura la *componente verticale del campo magnetico* terrestre tramite un ago magnetico, girevole intorno a un asse orizzontale, che può ruotare in un piano verticale, coincidente con il meridiano magnetico; a tal uopo, sulla base, dotata di tre viti calanti, è fissato un cerchio orizzontale graduato, suddiviso in angoli o sessagesimali « $\pi = 360^\circ$ » o centesimali « $\pi = 400^g$ », che consente di ruotare il corpo dello strumento mediante un braccio sporgente.

L'angolo d'inclinazione, formato dalla direzione individuata dal polo nord dell'ago e dal piano orizzontale, può essere letto direttamente sul cerchio verticale graduato al grado, sorretto da due colonnine di ottone.

Tecniche di riduzione dei disegni

La riduzione

Per **riduzione** di una figura s'intende la sua riproduzione in una figura simile, ma in scala diversa; quest'operazione può essere eseguita sia facendo in modo che gli elementi lineari, e dell'originale e della riduzione, siano in un dato rapporto (riduzione lineare) sia facendo in modo che siano le aree ad essere in un dato rapporto (riduzione superficiale).

Se il disegno originale è alla scala «1 : So» e si desidera ottenere un poligono simile ridotto alla scala «1 : Sr», si ha che un segmento «Lo» dell'originale si trasforma nel segmento «Lr» della riproduzione, dato da:

$$Lr = \frac{So \cdot Lo}{Sr}$$

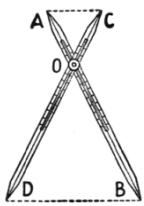
Riduzione col compasso di riduzione

Il compasso di riduzione è costituito da due barrette e «AB» e «CD» tenute, a guisa di doppio compasso, da un perno «O» che le può fissare nella posizione voluta e a cui corrisponde un certo rapporto di riduzione [fig. 47].

Dalla similitudine dei due triangoli «OAC» e «OBD» si ha:

$$OA : OB = OC : OD = AC : BD$$

Per cui, fissato il perno «O» nella posizione nella quale le lunghezze «OB» e «OA» (o parimenti «OD» e «OC») stiano nel rapporto voluto, anche le lunghezze «BD» e «AC», fra le punte del compasso, staranno nel medesimo rapporto; aperte le punte «B» e «D» su di un segmento dell'originale, si può riportare il segmento ridotto per mezzo delle punte «A» e «C».



[fig. 47]

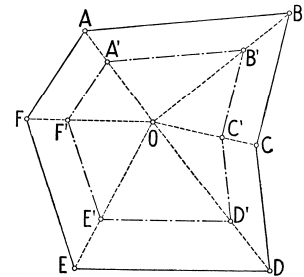
Riduzione col metodo dell'irraggiamento

Volendo ridurre il poligono esagonale «A B C D E F», in un dato rapporto lineare, nel poligono «A' B' C' D' E' F'», si sceglie un punto «O», interno al poligono, e si congiunge, quest'ultimo, con ogni vertice [fig. 48].

Si prendono quindi, su ciascuna congiungente, i punti «A'» «B'» «C'» «D'» «E'» «F'» in modo che «O A e O A'», «O B e O B'», «O C e O C'», «O D e O D'», «O E e O E'», «O F e O F'» stiano nel rapporto lineare voluto.

Si uniscono infine i vertici «A'» «B'» «C'» «D'» «E'» in modo da ottenere il poligono esagonale cercato.

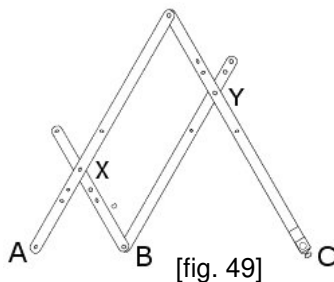
Si potrebbe procedere anche nello stabilire, per prima cosa, la posizione del punto «A'» ed in seguito tracciare i successivi segmenti «A' B' || A B», «B' C' || B C», «C' D' || C D», «D' E' || D E», «E' F' || E F», «F' A' || F A».



[fig. 48]

Riduzione col pantografo

Il **pantografo** è uno strumento più complesso del precedente, ma sicuramente è sia più comodo sia più pratico sia più rapido, nelle operazioni di riduzione [fig. 49].



[fig. 49]

Nella tipologia più semplice è costituito da quattro aste collegate, fra loro, in modo da formare un parallelogramma articolato nel quale nel punto «A» vi è un sistema per fissarlo ad un ripiano, nel punto «B» vi è una punta scrivente, chiamata *segnatoio*, atta a riportare i tratti de disegno da ridurre, in «C» vi è una punta non scrivente, chiamata *calcatoio*, atta a seguire il tratto del disegno originale.

Nel caso si volesse procedere ad un ingrandimento, è sufficiente scambiare fra loro le punte poste ed in «B» ed in «C».

Modificando la posizione dei perni situati sia in «X» sia in «Y», si modifica il rapporto di riduzione o riducendolo o aumentandolo.

Strumenti per la celerimensura

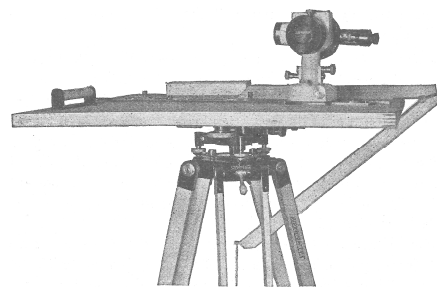
I goniografi

I **goniografi** servono per il tracciamento, sul piano del disegno, delle direzioni che comprendono gli angoli da rilevare; con essi si esegue contemporaneamente il rilevamento e la sua rappresentazione grafica.

La tavoletta Pretoriana

La **tavoletta Pretoriana**, dal nome di **Johann Richter** detto **Praetorius** (1537 – 1616), è, forse, il più noto dei **goniografi** [fig. 50a]; si compone essenzialmente di tre parti:

- ♦ il **supporto**: costituito da un robusto treppiede; sulla piattaforma di questo è fissato un basamento metallico sul quale solidamente fissato lo **specchio**.
- ♦ lo **specchio**: la tavoletta propriamente detta che può essere sia inclinato sia traslato a piacere.
- ♦ la **diottra**: è costituita da una riga metallica, con un bordo graduato in millimetri, alla quale si dà anche il nome o di *linea di fede* o di *spigolo fiduciale*.



[fig. 50a]



[fig. 50b]

Completano lo strumento alcune parti accessorie:

- ♦ una **livella torica**: serve a rendere orizzontale lo specchio.
- ♦ un **declinatore magnetico** (o **bussola**):
- ♦ la **squadra zoppa** (o **compasso di proiezione**): costituito da due aste di legno, di diversa lunghezza, unite a cerniera; l'*asta corta* termina con una punta detta **indice fiduciale**, all'estremità dell'*asta lunga* è fissato il cordoncino di un **filo a piombo**.

La **Tavola pretoriana di Michel Bumel** completa e di orologio solare e di bussola e di visorio e di livella a pendolo, per rilevare le piante [fig. 50b], è del 1625.

Allo strumento è allegato un libro, legato in pelle, che contiene un testo, su pergamena, stampato in caratteri gotici, con la figura dell'apparecchio e la spiegazione sull'uso.

Il grafometro

Il **grafometro** era uno strumento atto alla misurazione di angoli, sia di direzione sia d'altezza, grazie ad uno snodo che lo collegava al treppiede di sostegno e che gli permetteva di essere disposto sia orizzontalmente sia verticalmente [fig. 51].

Costruito in ottone, era costituito da un goniometro graduato semicircolare, con un diametro esteso oltre la circonferenza e munito di traguardi per l'allineamento di base; sopra il diametro vi era un'alidada girevole con al centro una bussola.

Il **grafometro** venne inventato verso il finire del **XVI** secolo, a Parigi, da **Philippe Danfrie** (1532 – 1606 dC) incisore, ingegnere e inventore di strumenti scientifici; lo strumento è presentato nel trattato **Declaration de l'usage du Graphometre**, pubblicato a Parigi nel 1597.

In [fig. 50] è presentato un grafometro semicircolare a sfera del **XVIII** secolo; strumento con alidade e bussola azimutale, montato su giunto semplice.



[fig. 51]

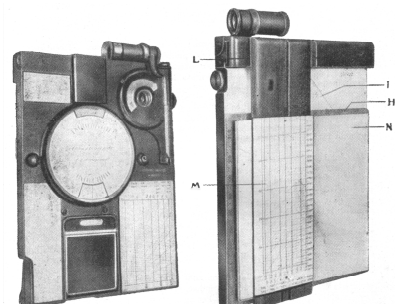
La tavoletta Monticolo

La **tavoletta Monticolo**, di facile uso ed agevole trasporto, è un **goniografo** che era usato a mano [fig. 52].

È costituita da una tavoletta di 13 cm x 18 cm; su di una sua faccia «a» sono collocati gli strumenti per il rilevamento, mentre sull'altra «b» è posto lo specchio per il disegno, con gli strumenti accessori per eseguire il grafico.

Gli strumenti in dotazione sulla laccia «a» sono:

- ♦ un distanziometro a prismi (un telemetro), che si usa tenendo verticale lo strumento e collimando una biffa; le distanze si leggono su un apposito quadrante.
- ♦ una bussola ad armilla graduata mobile, con la pos-



sibilità di compensare la declinazione magnetica.

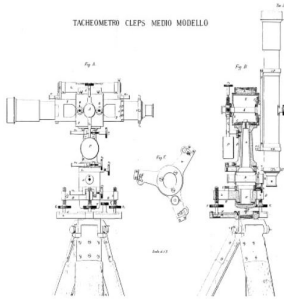
- ◆ un eclimetro, la cui posizione è visibile attraverso un apposito vetrino.
- ◆ un collimatore a riflessione.
- ◆ una piccola livella
- ◆ una scala grafica per la determinazione delle differenze di livello.

Sulla faccia «b» sono presenti:

- ◆ il quadrato dello specchio, di 12 cm di lato, su cui è posto il foglio da disegno; dotato di un telaio girevole, con bordo graduato, serve ad orientare il foglio di carta a seconda la direzione rilevata con la bussola.
- ◆ una larga riga piatta, scorrevole longitudinalmente, dotata di una scala graduata per il riporto delle distanze ridotte.

Il cleps e il tacheometro

Il **cleps** (dal greco *kléptō*, rubare) è uno strumento topografico, per l'esecuzione delle operazioni *celerimetriche*, ideato dall'ingegnere topografo **Paolo Ignazio Pietro Porro** (1801 – 1875) nella prima metà del secolo scorso; in *clips* fu sostituito, in seguito, dal *tacheometro* [fig. 53a].



[fig. 53a]

La caratteristica costruttiva più interessante del *cleps* consisteva nei cerchi graduati, e orizzontale e verticale, contenuti entro scatole metalliche al fine di proteggerli dalla polvere o graffi; la lettura ai cerchi, di piccolo diametro (55 mm ÷ 48 mm) e suddivisi in 4000 parti distanziate anche meno di 0,05 mm, era consentita da microscopi a stima dotati di forte potere d'ingrandimento.

Era dotato di un cannocchiale anallatico, a forte ingrandimento e dotato di reticolo distanziometrico, che consentiva la lettura alla stadia anche a rilevante distanza; era dotato, inoltre, sia di due livelle toriche sia di un declinatore magnetico (bussola), oltre a vari accessori ed a un treppiedi in legno.

Il **Tacheometro** (dal greco *tachéōs*, celermente, e metro) è uno strumento topografico, di media precisione, atto alla misurazione diretta degli angoli, sia azimutali sia zenitali, ed alla misurazione indiretta delle distanze; è costituito, oltre che dai cerchi graduati, anche da un cannocchiale con dispositivo distanziometrico [fig. 53b].

Nel basamento trovano posto tre viti calanti che servono a posizionare, l'asse principale dello strumento, lungo la verticale terrestre, con l'ausilio di una livella sferica di primo centrimento e, successivamente, attraverso una livella toroidale di alta precisione; il centrimento sul punto a terra è eseguito tramite il filo a piombo.

Attualmente è quasi completamente sostituito, così come il teodolite, dalla **Stazione Totale**, a causa della maggiore semplicità di utilizzo e versatilità della stessa, che può fungere anche da livello.



[fig. 53b]

Il nonio

Il **nonio** o **verniero** è costituito da una porzione di corona circolare, scorrevole a contatto con il lembo del cerchio graduato principale; la corona è essa pure provvista di una graduazione divisa in parti uguali [fig. 54].

Il nome *nonio* deriva dal nome del portoghese **Pietro Nunez** (1492 - 1577), detto in latino **Nonius**, che descrisse un metodo di frazionamento e di lettura, delle graduazioni, che però differisce da quello del nonio; più appropriato è il nome *verniero*, dal nome del francese **Pietro Vernier**, che lo descrisse nel 1631.

Il tratto da cui ha inizio la divisione «0» costituisce l'indice; l'intervallo compreso fra il primo e l'ultimo segno del nonio comprende «n - 1» divisioni della divisione del cerchio graduato principale ed è diviso in «n» parti uguali.

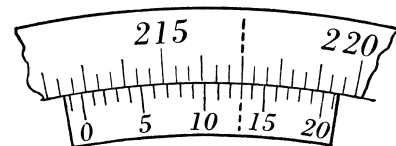
Si chiama **sensibilità** o **approssimazione** «a» del *nonio* la differenza fra il valore di un intervallo della gradazione del cerchio principale «g» ed il valore di un intervallo in cui è diviso il nonio «v» o, parimenti, il rapporto fra il valore di un intervallo della gradazione del cerchio principale «g» ed il numero di parti «n» in cui è diviso il nonio; si ha, infatti:

$$(n - 1) \cdot g = n \cdot v \quad \text{e quindi: } v = \frac{(n-1) \cdot g}{n}$$

$$\text{Per cui: } a = g - v = g - \frac{(n-1) \cdot g}{n} \quad \text{ed infine: } a = \frac{g}{n}$$

Per eseguire la lettura «r» col nonio si fa la lettura al cerchio in corrispondenza della divisione che precede lo zero «0» del nonio, quindi si osserva quale tratto del nonio coincide con un tratto del cerchio, infine si moltiplica la sensibilità «a», determinata in precedenza, col numero d'ordine di tale tratto e si aggiunge questo prodotto alla lettura «r».

Nel nostro caso [fig. 54] è rappresentato un cerchio diviso in gradi sessagesimali con l'intervallo di 20' e col nonio diviso in venti (20) parti.



[fig. 54]

Osservazioni

Il grado, come si può notare, è diviso in tre parti, per cui ($60' / 3 = 20'$); la sensibilità è data invece da ($a = 20' / 20 = 1'$).

Si legge, sul cerchio graduato, nella divisione che precede lo zero «0» del nonio, il valore $212^\circ 40'$ e poiché la divisione del nonio che coincide con la divisione del cerchio è la tredicesima (13) si devono aggiungere $1' \cdot 13 = 13'$; la lettura corretta è pertanto: $r = 212^\circ 53'$.

Per facilitare la lettura, si gradua il nonio con i numeri che si ottengono facendo già il prodotto della sensibilità per il numero d'ordine, in modo che alla lettura sul cerchio si aggiunge direttamente la lettura che si fa al nonio.

Le stadiie

Le **stadiie** o **Mire** sono *aste*, originariamente di legno dello spessore di almeno due centimetri e larghe da otto a dieci centimetri, solitamente della lunghezza o di due (2) metri o di tre (3) metri o di quattro (4) metri, generalmente graduate in centimetri (o in decimetri, a seconda delle distanze da misurare e della precisione richiesta); possono essere stadiie da utilizzarsi o in posizione verticale o in posizione orizzontale.

Vengono utilizzate per la misura indiretta delle distanze.

Le **metodo a stadia verticale** sono utilizzate con un tacheometro, dotato di reticolo distanziometrico; hanno la numerazione, dal basso verso l'alto, con le cifre poste comunemente capovolte in modo da vederle diritte attraverso il cannocchiale distanziometro del tacheometro; per renderle verticali si utilizza o un filo a piombo o una livella sferica [fig. 55].

Con alcuni strumenti, ad esempio l'autolivello a periscopio della Salmoiraghi, si deve utilizzare la stadia con la numerazione sempre dal basso verso l'alto, ma le cifre in posizione diritta.

L'**equazione della stadia**, l'equazione che fornisce la distanza fra il tacheometro e la stadia era data dalla:

$$D = c \cdot \cos \varphi + K \cdot S \cdot \cos^2 \varphi$$

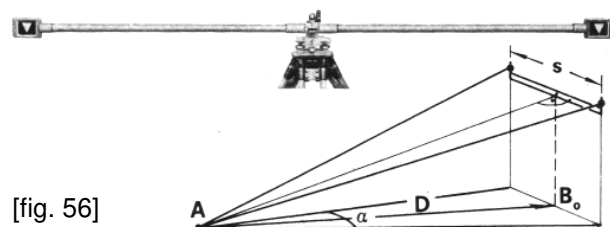
In cui: D = distanza planimetrica cercata - c = distanza del fuoco dell'obiettivo dal centro strumentale - K = costante distanziometrica - S = lunghezza del segmento, letto sulla stadia, tramite il reticolo distanziometrico - φ = altezza zenitale, letta sul cerchio verticale.

Nei tacheometri moderni, per contro, distanza del fuoco dell'obiettivo dal centro strumentale è nulla «c = 0», per cui la precedente formula diviene:

$$D = K \cdot S \cdot \cos^2 \varphi$$

In cui: D = distanza planimetrica cercata - K = costante distanziometrica - S = lunghezza del segmento, letto sulla stadia, tramite il reticolo distanziometrico - φ = altezza zenitale, letta sul cerchio verticale.

Le **metodo a stadia orizzontale** sono utilizzate o con un tacheometro o con un teodolite



[fig. 56]

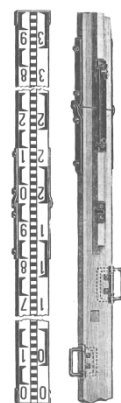
(non necessitano del *reticolo distanziometrico*); sono costituite da sbarre della lunghezza o di due (2) metri o di tre (3) metri, che portano alle estremità due scopi la cui distanza è nota con elevata precisione.

La sbarra è montata su d'un trepiede sia per poterla orientare sia per poterla rendere orizzontale, tramite una livella sferica [fig. 56].

l'equazione che fornisce la distanza fra il teodolite e la stadia è:

$$D = \frac{S}{2} \cdot \cot \frac{\alpha}{2}$$

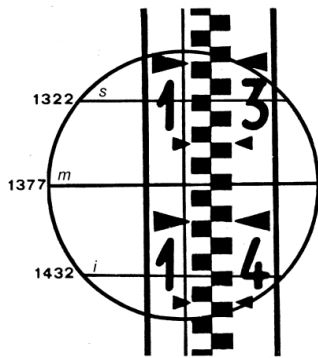
In cui: D = distanza planimetrica cercata - S = distanza fra gli scopi - α = angolo azimutale parallattico compreso fra le direzioni ai due scopi.



[fig. 55]

Il reticolo distanziometrico

Il **reticolo distanziometrico** è costituito da due *fili* supplementari: «i» (inferiore), «s» (superiore), incisi sul vetrino del reticolo principale (i due fili, a croce, centrali), paralleli e simmetrici al *filo* orizzontale «m» del reticolo principale.



Quando si foca l'immagine della stadia, sul reticolo del cannocchiale, i due valori: L_i , L_s , della gradazione intercettati dai *fili* e «i» e «s», sono visti, dal fuoco anteriore «F», sotto un angolo « ω » costante, pari a:

$$\cot \frac{\omega}{2} = \frac{2 \cdot f}{S} \quad \text{risulta pertanto: } K = \frac{f}{S}$$

In cui: ω = angolo parallattico costante - f = distanza focale dell'obiettivo - S = distanza fra i due fili: «i», «s» - K = costante distanziometrica

[fig. 57]

Di reticoli distanziometrici ne esistono di diversi tipi: il più comune ha una sola coppia di *fili* per cui $K = 100$ [fig. 57], in quello detto del **Catasto italiano**, le coppie sono due, una per $K = 100$ ed una per $K = 50$.

La formula che fornisce la distanza planimetrica fra la stadia e il centro strumentale, l'equazione della stadia, è:

$$D = K \cdot S \cdot \cos^2 \varphi$$

Nell'esempio di [fig. 57] abbiamo:

$$i = 1\,432, \quad s = 1\,322, \quad m = 1\,377$$

$$S = 1\,432 - 1\,322 = 110$$

$$\varphi = 0^\circ \quad \text{pertanto: } \cos \varphi = 1 = \cos^2 \varphi$$

Si desume l'orizzontalità del cannocchiale dall'osservazione che:

$$L_m = \frac{L_i + L_s}{2} = \frac{1\,432 + 1\,322}{2} = 1\,377$$

Per $\varphi > 0$ l'uguaglianza suddetta non è più verificata, anche se per inclinazioni non maggiori di 25° , lo scarto dal punto medio è trascurabile.

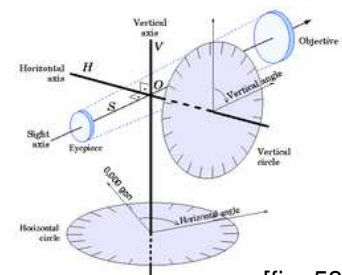
$$\text{per cui: } D = 100 \cdot 110 \cdot 1 = 11\,000 \text{ mm} = 11 \text{ m}$$

(in effetti, eravamo un po' troppo vicini alla stadia)

Il teodolite

Il **Teodolite** è uno strumento ottico a cannocchiale, usato per i rilievi geodetici e topografici, per la misurazione degli angoli azimutali (cioè contenuti in un piano orizzontale) e zenitali (cioè contenuti in un piano verticale),.

Il **Teodolite** si differenzia sostanzialmente dal **Tacheometro**, col quale si possono misurare anche le distanze, per la maggiore precisione delle misure angolari: un teodolite può apprezzare normalmente da uno a cinque secondi centesimali ($1^{\text{cc}} \div 5^{\text{cc}}$), un tacheometro inizia ad apprezzare mediamente dai venti secondi centesimali in su ($20^{\text{cc}} \div$ in su) [fig. 58].

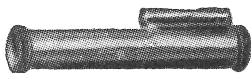


[fig. 58]

Per misurare gli angoli azimutali con il teodolite si deve eseguire la prima lettura con il cerchio verticale a sinistra (prima posizione d'uso) e la seconda con cerchio verticale a destra (seconda posizione d'uso). Si ottengono così le due letture coniugate. Per ottenere la lettura corretta, cioè priva di errori di eccentricità e di orizzontalità e ortogonalità, si calcola la media delle letture coniugate.

Il livello dell'alpinista

Il **livello dell'alpinista**, o **livelletto Abney**, è composto da un tubicino cilindrico con un estremo provvisto di oculare e l'altro estremo aperto [fig. 59].



Sopra il tubicino è fissata una **livellina** con l'armatura aperta sia superiormente sia inferiormente; la fiala, della livellina, porta, in corrispondenza del suo centro, un segno fiduciale.



[fig. 59]

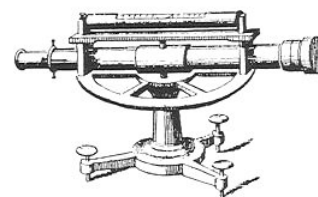
In corrispondenza dell'apertura inferiore, della livella, è praticata, nel tubicino, una finestrella e, sotto di questa, è posto, all'interno del tubicino, uno specchietto inclinato a 45° , rispetto all'asse di collimazione, che occupa soltanto una metà laterale del tubicino.

Il **livelletto Abney**, chiamato anche **livello inglese**, ha avuto, nel tempo, e varie modifiche e miglioramenti pur restando e concettualmente e sostanzialmente lo stesso.

Il livello a cannocchiale

il **livello a cannocchiale** è uno strumento che serve ad individuare una direzione orizzontale detta linea di mira o di collimazione; permette di misurare differenze di quote (dislivelli) attraverso il metodo della livellazione geometrica, tramite la lettura su un'asta graduata, detta stadia.

Questi livelli [fig. 60], detti anche di tipo inglese, sono costituiti, generalmente, da un cannocchiale imperniato ad un basamento a tre razze, fornite di viti calanti; sul cannocchiale è fissata una livella torica.



[fig. 60]

I livelli hanno avuto, nel tempo, notevoli miglioramenti; per fornire almeno un'idea della loro evoluzione possiamo osservare che si è passati da un errore medio chilometrico di ≈ 12 mm a ≈ 2.4 mm, per i livelli d'alta precisione a ≈ 1 mm, per gli auto livelli migliori.

Strumenti per la cartografia

Scale graduate per la lettura diretta delle coordinate geografiche di punti grafici delle carte I.G.M.

Premessa

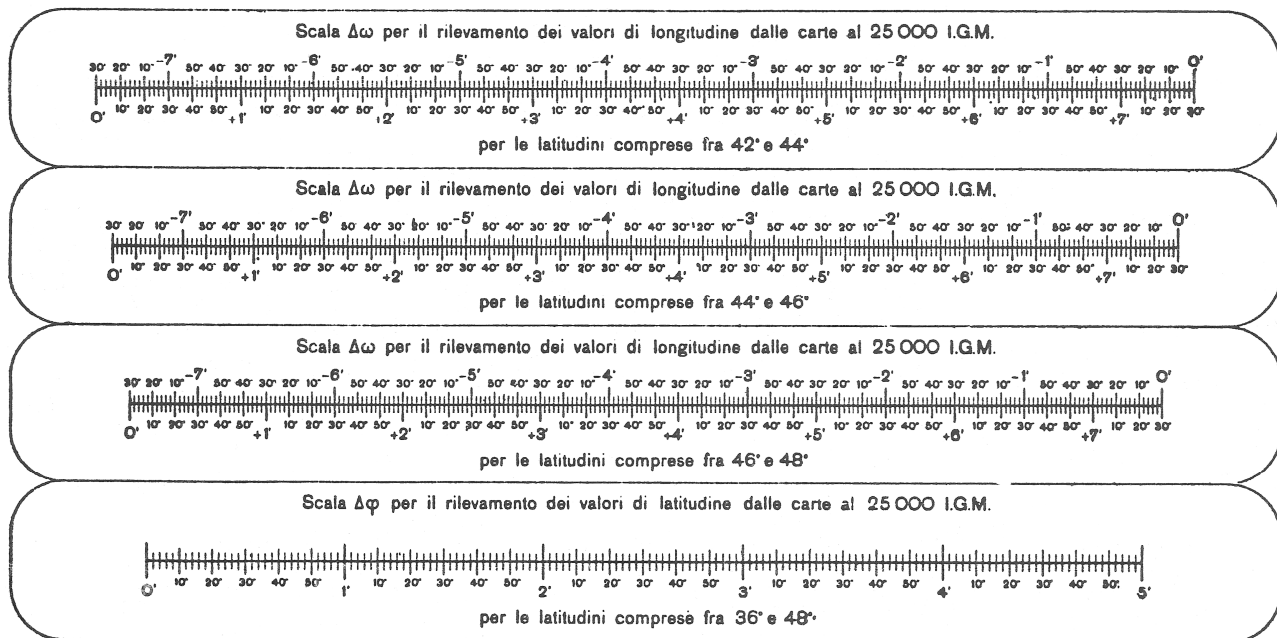
Le Scale graduate per il rilevamento delle coordinate geografiche di punti designati sulle Carte al 25 000 I.G.M., alle latitudini comprese fra 36° e 48°.

La serie completa, posta in vendita dall'I.G.M., è composta da:

- a) Un gruppo di 4 scale per i fogli della Carta d'Italia al 100 000 a nord del parallelo 42°.
- b) Un gruppo di 4 scale per i fogli della Carta d'Italia al 100 000 a sud del parallelo 42°.
- c) Un gruppo di 4 scale per i fogli della Carta d'Italia al 25 000 a nord del parallelo 42° (rappresentate nella pagina seguente).
- d) Un gruppo di 4 scale per i fogli della Carta d'Italia al 25 000 a sud del parallelo 42°.

Ciascun gruppo è composto da 3 scale $\Delta\omega$ (per la lettura delle differenze di longitudine) e di una scala $\Delta\phi$ (per la lettura delle differenze di latitudine); ogni scala $\Delta\omega$ può essere utilizzata per le carte comprese fra i due paralleli di latitudine da 36° a 48°, mentre la scala $\Delta\phi$ può essere utilizzata per tutte le Carte del territorio italiano.

Presentiamo a presso le scale graduate per il rilevamento delle coordinate geografiche di punti designati sulle Carte al 25 000 I.G.M., alle latitudini comprese fra 42° e 48°.



[fig. 61]

Le dimensioni reali (in lunghezza) dei supporti, in cui sono stampate le scale graduate, sono di 47,8 cm; circa 2,84 volte maggiori di quelle stampate qui.

Procedimento

La lettura dei valori $\Delta\omega$ e $\Delta\phi$ si effettua come illustrato rispettivamente e nell'immagine [fig. 62] e nella [fig. 63]; per ottenere dei buoni risultati bisogna curare, inclinando opportunamente le scale, la coincidenza dei suoi estremi o con le tracce dei meridiani « $\Delta\omega$ » o con le tracce dei paralleli « $\Delta\phi$ » marginali della Carta topografica e, contemporaneamente, fare in modo che il punto «A» lambisca la linea di fede della scala stessa, vedi e [fig. 01] e [fig. 02].

Il valore della longitudine è dato da:

$$\omega_A = \omega_w + \Delta\omega \quad \text{per le longitudini positive, ad est di Roma (Monte Mario).}$$

$$\omega_A = -(|\omega_g| + |\Delta\omega|) \quad \text{per le longitudini negative, ad ovest di Roma (Monte Mario).}$$

In cui: ω_w e ω_g sono rispettivamente i valori della longitudine e del meridiano occidentale e del meridiano orientale che delimitano la Carta - $\Delta\omega$ = il valore che si legge in corrispondenza di «A» o sulla gradazione inferiore della scala (nel primo caso) od sulla gradazione superiore della scala (nel secondo caso).

Il valore della latitudine è dato da:

$$\varphi_A = \varphi_s + \Delta\varphi$$

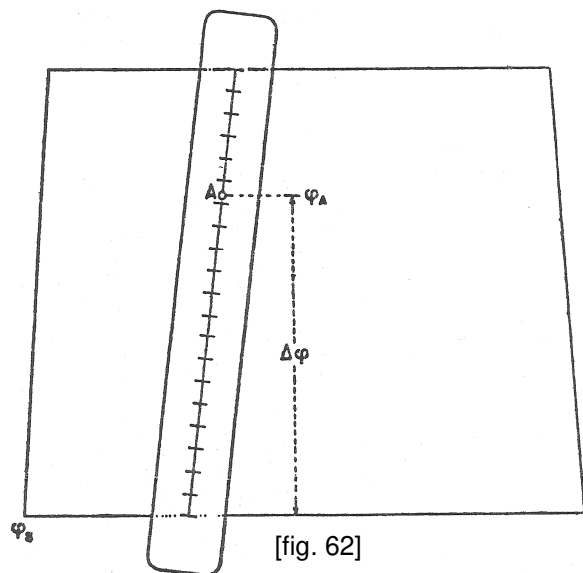
In cui: φ_s = il valore della latitudine del parallelo sud - $\Delta\varphi$ = il valore che si legge sulla scala in corrispondenza di «A», avendo predisposto la detta scala in modo che lo zero sia sul parallelo sud della scala

La precisione conseguibile, avendo cura di effettuare per ogni coordinata due letture con la scala in posizioni simmetriche, è:

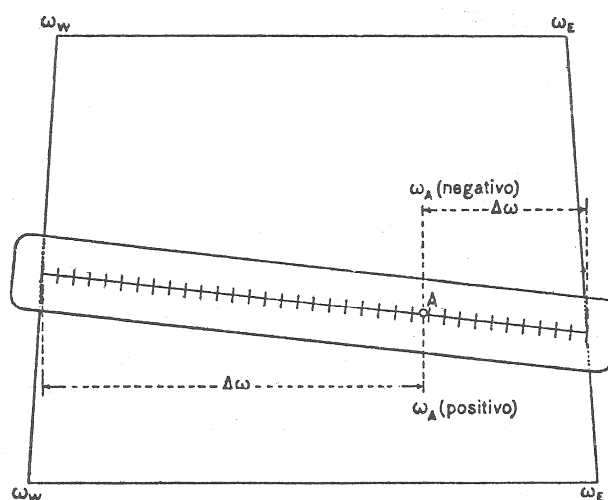
per le Carte al 100 000 pari a $\pm 1,8''$ per le latitudini, $\pm 2,5''$ per le longitudini.

per le Carte al 25 000 pari a $\pm 0,5''$ per le latitudini, $\pm 0,7''$ per le longitudini.

Nell'ambito speleologico la Carta alla scala al 25 000 è la più idonea alle nostre esigenze.



[fig. 62]



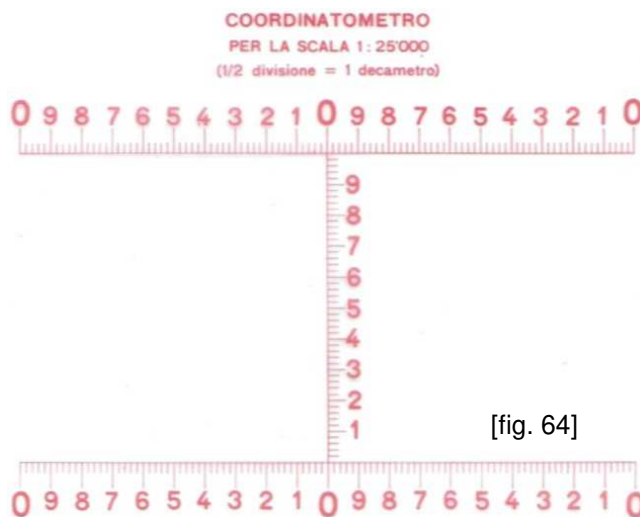
[fig. 63]

Coordinatometro

Un altro strumento messo a disposizione dall'I.G.M. per la misura delle coordinate è il **coordinatometro**, stampato su materiale trasparente, per ricavare il valore dei centinaia di chilometri delle coordinate chilometriche **U.T.M.** nelle Carte al 25 000 [fig. 64].

Sappiamo che ogni maglia del reticolato chilometrico misura quattro centimetri «4 cm» sulla Carta pari a un chilometro nella realtà, (vedi la Dispensa dello stesso Autore *Geodesia. Cartografia e Carte topografiche*, in **Le Coordinate U.T.M.**, a pagina 40).

Come si evince dalle informazioni presenti sul coordinatometro ogni divisione è pari a due decimetri «1 divisione = 2 dam = 20 metri».



[fig. 64]

Strumenti Vari

L'archimetro

L'**archimetro**, nome coniato dall'inventore, l'architetto italiano **Giovanni Battista Aleotti** (1546 – 1636), per indicarne la principale funzione di misuratore e di archi e angoli.

Nel trattato sull'*Hidrologia, ovvero ragionamento della scienza et dell'arte dell'acque* l'Aleotti scrisse: «*un instromento Geometrico inventato da noi molti anni sono, perché con questo solo si possan havere tutte le operationi al bisogno et uso loro necessarie et lo habbiam nominato ARCHIMETRO, perché tra tutti gli altri instromenti geometrici lo habbiamo ritrovato tale che questo nome non gli disdice . . .*».

L'archimetro consiste in una squadra zoppa con i bracci graduati, una bussola nello snodo e un terzo braccio trasversale scorrevole sui primi due. Articolando i tre bracci è possibile costruire un triangolo simile a quello formato dai raggi visivi che guardano due luoghi in lontananza.

Il braccio trasversale risulta così proporzionale alla distanza tra i due luoghi, mentre gli altri due risultano proporzionali alle distanze dei luoghi dall'osservatore; basta conoscere una sola delle tre grandezze lineari in questione per dedurre, usando la scala graduata sullo strumento, la misura delle altre due.

La bussola permette, inoltre, di effettuare veri e propri rilievi topografici che possono essere restituiti in disegno nel momento stesso in cui vengono effettuati.

Ai nostri giorni, si indica col termine **archimetro** uno strumento di grande precisione che consente di misurare direttamente i raggi di curvatura di diversi profili sia concavi sia convessi; è possibile misurare sia il raggio interno che quello esterno, scegliendo comodamente l'unità di misura che più aggrada tra pollici e millimetri.



[fig. 65]

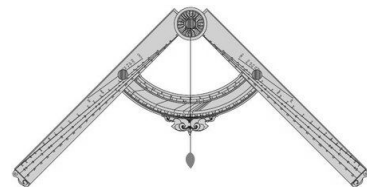


Il compasso geometrico e militare

Il **compasso geometrico e militare** fu progettato dallo scienziato italiano (pisano) **Galileo Galilei** (1564 – 1642) a Padova nel 1597 e fu realizzato dall'artigiano italiano **Marcantonio Mazzoleni** (? – 1632).

Galileo descrisse e lo strumento ed il suo funzionamento nel trattato **Le operazioni del compasso geometrico et militare** che, pubblicato a Padova nel 1606 in sessanta copie, fu venduto assieme a un esemplare del compasso stesso.

Questo strumento di calcolo consentiva di effettuare velocemente più di quaranta tipi diversi di complesse operazioni geometriche e aritmetiche, basandosi sul meccanismo delle proporzioni, e di trovare soluzioni a vari problemi legati a esigenze civili e militari; si poteva calcolare, per esempio, la balistica dei tiri d'artiglieria o ridisegnare una mappa in scala diversa, o ancora compiere operazioni di cambio.



Altri compassi di proporzione

Alcuni calunniatori di galilei cercarono di attribuire il merito dell'invenzione del **compasso di proporzione** al matematico olandese **Michel Coignet** (1549 – 1623).

Già nel 1607, uno degli allievi di Galileo tentò di accreditarsi l'invenzione dello strumento negli ambienti più colti, pubblicando un trattato in latino sulle sue possibili operazioni.

Successivamente, molte furono le varianti del compasso di proporzione di Galileo, ottenute o apportando modifiche o aggiungendo ulteriori scale proporzionali che ne estesero i campi di applicazione; varianti a cui furono attribuiti nomi differenti.

Michel Coignet lo chiamò **compasso pantometro**, l'ingegnere e matematico e gnomonista italiano **Muzio Oddi** (1569 – 1639) lo chiamò **compasso polimetro**, l'architetto italiano **Ottavio Revese Bruti** (1585 – 1648) lo chiamò archi sesto (nome coniato dall'inventore componendo le parole «architettura» e «sesto - compasso», ossia **compasso architetonico**).

Alcuni matematici francesi, aggiunsero delle funzioni per i disegni in prospettiva e lo chiamarono **compasso di prospettiva**.

Appendici

Appendice «a»

Una mappa egizia

Una mappa dell'**Egitto** risalente circa al 1300 aC, nota come **Papiro di Torino** (conosciuto anche come o **Papiro dei Re** o **Canone Reale** o **Lista Reale** di Torino) è un documento risalente alla **XIX dinastia egizia**, eseguita probabilmente durante il regno di **Ramesse II** (1290 aC – 1224 aC) e redatto in *ieratico*, mostra le montagne in cui vi sono sia *miniére d'oro* sia *miniére di altri minerali* con segnate le strade che conducono, da queste, al Mar Rosso; questo Papiro è pertanto non solo la prima **mappa topografica** conosciuta, ma anche la prima **Carta geologica** conosciuta, in quanto sono evidenziate con colori diversi le miniere a seconda del minerale estratto.

Le precisissime misurazioni antiche

Un'opera che testimonia quanta accuratezza si poteva raggiungere nell'allineamento dei lati, della base delle piramidi, con i punti cardinali, anche servendosi e di semplici e di rudimentali strumenti quali il **Merkhet**, è la grande piramide di **Cheope**.

I suoi quattro lati misurano, alla base: lato *nord* 230,250 m, lato *ovest* 230.356 m, lato *est* 230.390 m, lato *sud* 230.453 m; variano solamente fra il minimo di 230,250 m ed il massimo di 230,454 m, poco più di 20 cm.

Gli angoli alla base sono, parimenti, quasi perfetti: angolo *sud-est* 89° 56' 27", angolo *nord-est* 90° 03' 02", angolo *sud-ovest* 90° 00' 33", angolo *nord-ovest* 89° 59' 58"; con uno scostamento massimo di appena 0° 03' 33".

La direzione dei lati non supera mai i 5° 30' di deviazione, rispetto ai punti cardinali.

L'altezza è di 146 m, la superficie di base è di 53 013,819 m², il peso è di ≈ 6 000 000 tonnellate ($6 \cdot 10^{12}$ kg = 6 Tg = 6 *teragrammi*); è composta da ≈ 2 300 blocchi e di pietra calcarea e di granito, con pesi che variano dalle 2,5 tonnellate alle 70 tonnellate.

Unità di misura (antico Egitto)

Gli antichi Egizi utilizzavano un articolato sistema di **unità di misura** per grandezze fisiche come *lunghezza* e *superficie*; ciascuna unità di base possedeva un sistema di multipli e sottomultipli; alcuni di questi sistemi di misura erano relativamente complessi, in particolare quello per le unità di *volume*, qui non riportato, che era derivato dall'unione di più sistemi di misura.

Lunghezza

L'unità fondamentale per la misura delle lunghezze era il **cubito**, che rappresentava la lunghezza dell'avambraccio, dal gomito alla punta del dito medio.

Tabella delle unità di lunghezza			
Unità	Valore	Traslitterazione	Geroglifico
1 dito	1,88 cm	<i>ḏb^c</i>	
1 palmo = 4 dita	7,5 cm	<i>ššp</i>	
1 cubito reale = 7 palmi	52,5 cm	<i>mḥ</i>	
1 asta = 100 cubiti	52,5 m	<i>ḥt</i>	
1 fiume = 20.000 cubiti	10,5 km	<i>ītrw</i>	

Erano in uso due tipi di cubito: il *cubito piccolo* di circa 45 cm, usato per le misurazioni quotidiane, il *cubito reale*, di 52,35 cm, utilizzato in architettura; una caratteristica del cubito architettonico consisteva nel fatto che le misure verticali venivano effettuate con pertiche, mentre le misure orizzontali venivano effettuate con un odometro.

Superficie

Il sistema di unità di misura della superficie era più complesso di quello delle lunghezze; l'unità di base, detta *setat* (in epoca ellenistica *aroura*) e corrispondente a una khet quadrata, presenta infatti due serie separate di sottomultipli.

La prima serie era costituita dal cubito (da non confondere con il cubito lineare), che corrispondeva ad una striscia rettangolare di $100 \cdot 1$ cubiti lineari, per una superficie di 0,01 setat, la seconda serie corrispondeva alle potenze di $1/2$, da $1/2$ a $1/32$ di setat; Infine, 10 setat costituivano uno *ha* ("mille") o *ha-ta* ("mille di terra").

Tabella delle unità di superficie			
Unità	Valore	Traslitterazione	Geroglifico
1 centaroura	27,6 m ²	<i>mḥ-t3</i>	
1 aroura = 100 centaroura	2,760 m ²	<i>st3t</i>	
1 decaroura = 10 aroura	27,600 m ²	<i>ḥ3-t3</i>	

Il merkhet

Il **merkhet** era uno strumento astronomico egizio composto sia da un'asta di legno verticale, fissata su una base pesante, munita sulla parte superiore di una scanalatura sia da un filo a piombo, sospeso ad una seconda asta; questo strumento veniva usato e per determinare l'asse del tempio o delle piramidi e per osservare il transito al meridiano delle stelle ed anche per misurare i campi.

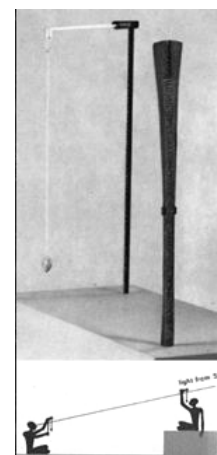
Scanalatura e filo a piombo erano posti in meridiano (direzione nord-sud) e l'astronomo osservava, attraverso la scanalatura, il passaggio sul filo a piombo di particolari stelle, dette **decani**, le quali, a seconda della posizione che queste stelle avevano sulla *tavola stellare*, indicavano l'ora della notte.

Tali stelle cambiavano ovviamente nel corso dell'anno, per cui il ritorno di una certa stella in meridiano poteva indicare il chiudersi di un ciclo solare, fornendo quindi indicazioni di tipo calendariale.

Varie fonti descrivono anche un **merkhet** portatile, da tenere semplicemente con le mani, formato da una foglia di palma avente un intaglio sulla sommità ed una squadra col filo a piombo.

Per conoscere le ore della notte, due o più osservatori stavano seduti ad una giusta distanza l'uno di fronte all'altro, secondo l'asse Nord-Sud.

Il **merkhet**, secondo alcune fonti, risale addirittura al 2600 aC.



Dov'è Monte Mario?

Coordinate di **M. Mario** (Roma) nelle varie determinazioni, con la longitudine riferita al meridiano origine stabilito da **Tolomeo**; il meridiano delle **isole Fortunate**.

Tolomeo:	latitudine 41° 40' N	longitudine 36° 40' E
Rosaccio 1°:	latitudine 41° 51' N	longitudine 37° 05' E
Rosaccio 2°:	latitudine 41° 20' N	longitudine 35° 50' E
Castaldi:	latitudine 41° 20' N	longitudine 35° 50' E
Maggini:	latitudine 41° 57' N	longitudine 36° 00' E
Dati esatti (al primo):	latitudine 41° 55' N	longitudine 30° 06' E

WGS84 (meridiano origine Greenwich) Latitudine 41° 55' 27,851" longitudine 12° 27' 07,658"

Il meridiano delle **isole Fortunate** è alla latitudine di: 17° 39' O, da Greenwich

La macchina di Anticitera

La **macchina di Anticitera** (nel greco attuale: μηχανισμός των Αντικυθήρων), nota anche come **meccanismo di Antikythera**, è il più antico *calcolatore meccanico* conosciuto, databile intorno al 150 ± 100 a.C.

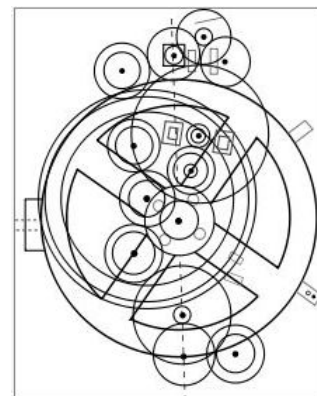
Si tratta di un sofisticato planetario, mosso da ruote dentate, che serviva per calcolare e il sorgere del sole e le fasi lunari e i movimenti dei cinque pianeti allora conosciuti e gli equinozi e i mesi e i giorni della settimana e, secondo un recente studio pubblicato su *Nature*, le date dei giochi olimpici.

Trae il nome dall'isola greca di **Anticitera**, situata a nord-ovest di **Creta** presso cui è stata rinvenuta (35° 53' N - 23° 18' E); è conservata presso il **Museo archeologico nazionale di Atene**.

Il meccanismo risultò essere un *antichissimo* calcolatore per il calendario solare e lunare, le cui ruote dentate potevano riprodurre il rapporto di 254:19 necessario a ricostruire il moto della **Luna** in rapporto al **Sole** (la Luna compie 254 rivoluzioni *siderali* ogni 19 anni *solari*).

L'estrema complessità del congegno era inoltre dovuta al fatto che tale rapporto veniva riprodotto tramite l'utilizzo di una ventina di ruote dentate e di un differenziale, un meccanismo che permetteva di ottenere una rotazione di velocità pari alla somma o alla differenza di due rotazioni date. Il suo scopo era quello di mostrare, oltre ai mesi lunari siderali, anche le lunazioni, ottenute dalla sottrazione del moto solare al moto lunare siderale.

Sulla base della sua ricerca, **Derek de Solla Price** concluse che, contrariamente a quanto si era creduto in precedenza, nella Grecia del II secolo a.C. esisteva effettivamente una tradizione di altissima tecnologia.



L'astrolabio

L'**astrolabio** è un antico strumento astronomico tramite il quale è possibile o localizzare o calcolare la posizione di corpi celesti come e il Sole e la Luna e i pianeti e le stelle; con esso si può anche determinare l'ora locale conoscendo la longitudine, o viceversa.



Fino all'invenzione del sestante, fu il principale strumento utilizzato, per diversi secoli, dai marinai per la navigazione.

Il suo funzionamento si basa sulla constatazione che il movimento *apparente* della sfera celeste è il risultato della combinazione dei movimenti terrestri sia di rotazione, in un giorno, sia di rivoluzione, in un anno.

L'astrolabio è composto sia da alcuni:

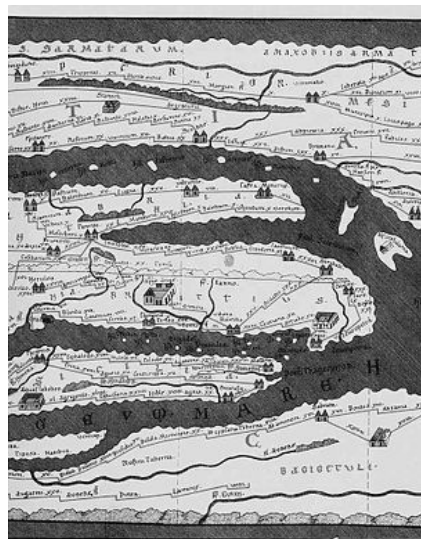
Nel primo vi è una mappa stellare e il calendario annuale, con l'indicazione e dei mesi e dei giorni.

Nel secondo vi è l'indicazione del polo nord celeste, ossia la posizione della stella polare.

Il terzo elemento è l'asticella mobile, denominata *alidada*, essenziale per eseguire il puntamento con la dovuta precisione.

La tabula Peutingeriana

La **Tabula Peutingeriana** o **tavola peutingeriana** è una copia, eseguita nel XII-XIII secolo, di un'antica carta romana che mostrava le vie militari dell'Impero; porta il nome dell'umanista e antichista **Konrad Peutinger** che la ereditò dal suo amico **Konrad Celtes**, bibliotecario dell'imperatore **Massimiliano I**.



La **Tabula** fu stampata, a colori, nel 1591, ad Anversa, con il nome di **Fragmenta tabulae antiquae**, dal famoso editore Johannes Moretus; qui se ne riporta una minima parte, come esempio.

Il manoscritto, generalmente datato al XIII secolo, sarebbe opera di un anonimo monaco copista di Colmar che avrebbe riprodotto, verso il 1265, un documento più antico.

Per quanto attiene a talune specifiche indicazioni, l'originale dovrebbe essere posteriore al 328 dC, perché mostra la città di **Costantinopoli**, che fu fondata in quell'anno; per altre particolarità, potrebbe essere antecedente al 109 aC, data di costruzione della **Via Emilia Scauri**, che non vi è indicata.

Evidentemente la **Tabula Peutingeriana**, all'origine, deve essere stata costruita *per blocchi* di osservazione e non doveva

essere più stata aggiornata; ad ulteriore prova, mostra la città di **Pompei**, che non fu mai più ricostruita dopo l'eruzione del Vesuvio nel 79, d'altra parte, vi sono indicate alcune città della **Germania inferiore** che furono distrutte e abbandonate dopo il **V secolo**.

La **Tabula** è attualmente conservata presso la **Hofbibliothek** di **Vienna**, in Austria, e detta per ciò **Codex Vindobonensis**; nel 2007 l'**UNESCO** ha inserito la **Tavola Peutingeriana** nell'**Elenco delle Memorie del mondo**.

Unità di misura (romano antico)

Lunghezza

I Romani adottarono come unità di misura lineare il **piede**, identico al **piede attico**, che era utilizzato prevalentemente nel mondo greco; l'uso del **pes romanus**, chiamato **pes monetalis**, poiché un'unità campione era conservata, a Roma, nel tempio di **Iuno Moneta**, divenne obbligatorio sotto **Caio Giulio Cesare Ottaviano Augusto** (63 aC – 14 dC).

Unità romana	Latino	Piede	SI decimale
dito	digitus	1 / 16	1,85 cm
uncia	uncia	1 / 12	2,47 cm
palmo	palmus	1 / 4	7,41 cm
piede	pes	1	29,65 cm
cubito (gomito)	cubitus	1½	44,47 cm
passo semplice	gradus	2½	0,74 m
passo doppio	passus	5	1,48 m
pertica	pertica	10	2,96 m
atto	actus	120	35,52 m
stadion	stadium	625	185,00 m
miglio	miliarius	5000	1,48 km
lega	leuga	7500	2,22 km
Il piede romano è definito come $\frac{1}{28}$ del cubito di Nippur. Il valore teorico del cubito di Nippur è esattamente: 518 616 micrometri; di conseguenza il piede dei romani è di 296 352 μm $\leq$ 29,64 cm.			

Nella tarda antichità romana il piede era diviso a volte in dodici parti (uncia); prima del periodo medioevale era però prevalente la suddivisione in sedici parti (digitus).

«Dalla misura degli edifici si era ricavato che il piede classico romano od *italicus* corrisponderebbe oggi a 0,295 74 m; tuttavia risultò anche che sotto **Severo** e **Diocleziano** aveva subito un leggero accorciamento, così da fargli attribuire non più di 0,29421 m»

Superficie

Unità romane	Latino	Actus Quadratus	SI decimale
piede quadrato	pes quadratus	1 / 14 400	876,16 cm ²
pertica quadrata	scripulum	1 / 144	8,7816 m ²
	actus minimus	1 / 30	≈42,2 m ²
verga	clima	1 / 4	≈316,25 m ²
atto quadrato	actus quadratus	1	≈1265 m ²
iugero	iugerum	2	≈2529 m ²
eredio (mattutino)	heredium	4	≈5059 m ²
centuria	centuria	400	≈50,6 ha
"quadruplica" (salto)	saltus	1600	≈202,3 ha
L'atto quadrato è il quadrato dell'atto. (1 atto = 120 piedi) Ciò corrisponde a 14 400 piedi quadrati o circa un ottavo di Ettaro. Più precisamente sono 1264,673 Metri quadrati.			

Volumi

Misure per i liquidi:

Unità romana	Latino	Sestero	SI decimale
piccolo cucchiaino	ligula	1 / 48	≈1⅜ cl
cucchiaino	cyathus	1 / 12	≈4½ cl
sestante (1/6 di sestero)	sextans	1 / 6	≈9 cl
triente (1/3 di sestero)	triens	1 / 3	≈18 cl
emina (1/2 di sestero)	hemina	1 / 2	≈27 cl
Cheonix	cheonix	2 / 3	≈36 cl
sesterio	sextarius	1	≈54 cl
congio	congius	6	≈3¼ l
urna	urna	24	≈13 l
anfora	<i>amphora</i>	48	≈26 l
otre	<i>culleus</i>	960	≈520 l
L'anfora (amphora quadrantal) corrisponde a un piede cubico. Il congio è ⅛ di anfora e pari al cubo di mezzo piede. Contiene esattamente sei sestieri.			

Misure per aridi:

Unità romana	Latino	Modio	SI decimale
cucchiaino grande	acetabulum	1 / 128	≈6¾ cl
quarto di sestero	quartarius	1 / 64	≈13½ cl
Emina	hemina	1 / 32	≈27 cl
sesterio	sextarius	1 / 16	≈54 cl
semodio	semodius	1 / 2	≈4⅔ l
<i>moggio</i> (modio)	modius	1	≈8⅔ l
quadrantale	<i>quadrantal</i>	3	≈26 l
Il quadrantale romano misura un piede cubo, dunque un'anfora. Come l'anfora circa 26,027 litri; un terzo del <i>quadrantale</i> è il modio romano, la misura base.			

Pesi

Unità romane	Latino	Dracma	SI decimale
chalco	chalcus	1 / 48	71 mg
siliqua	siliqua	1 / 18	189⅓ mg
obolo	obolus	1 / 6	0,568 g
scrupolo	scrupulum	1 / 3	1,136 g
dracma	drachma	1	3,408 g
siclo o sicilico (shekel)	sicilicus	2	6,816 g
uncia	uncia	8	27,264 g
libbra	libra	96	327,168 g
mina	mina	128	436,224 g
Non esiste una correlazione precisa tra lunghezze e masse. <i>Ma</i> : La libbra romana vale esattamente tre quarti di una mina greca. Perciò la relazione tra dracma romana e greca è 25 : 32.			

Altre fonti indicano per la libbra romana 327,453 g, cioè il 0,1 % in più.

«L'ottantesima parte del vino contenuto nell'Anfora o piede cubico costituiva, come si riporta in un Plebiscito riportato da Festo, l'unità o asse dei pesi o sia la *Libbra romana (Quadrantal vini octoginta pondo fiet)*».

Tutti i multipli dell'oncia romana hanno il loro nome specifico.			
uncia	= 1 oncia	septunx	= 7 once
sextans	= 2 once	bes	= 8 once
quadrans	= 3 once	dodrans	= 9 once
triens	= 4 once	dextans	= 10 once
quincunx	= 5 once	deunx	= 11 once
semis	= 6 once	as	= 12 once
Un'oncia e mezza veniva chiamata "sescuncia". Semis e quadrans, triens e sextans hanno questo nome in quanto frazioni dell'as o libbra. Gli stessi nomi sono utilizzati per indicare monete di bronzo.			

Il più antico goniometro, forse

Il 16 febbraio del 1906 l'egittologo italiano **Ernesto Schiaparelli** (1856 – 1928) rinvenne a **Deir-al-Medina**, vicino alla **Valle dei Re**, la tomba ancora intatta del capo architetto egiziano **Kha** e di sua moglie **Merit**.



L'architetto **Kha**, che contribuì alla costruzione delle tombe dei faraoni durante la **XVIII** dinastia, e **Merit** vissero fra il 1450 e il 1380 avanti Cristo, conobbero tre faraoni: **Amenofi II**, **Tutmosi IV** e **Amenofi III** e morirono entrambi attorno ai 60 anni.

Tra gli effetti personali di **Kha**, c'erano alcuni strumenti di misura tra cui: bacchette lunghe un cubito, un dispositivo di livellamento, che assomiglia a una moderna squadra, e quello che appariva essere un oggetto ligneo dalla strana forma.

Schiaparelli pensò che quest'ultimo oggetto fosse il contenitore d'un altro strumento di livellamento, ma **Amelia Sparavigna**, fisico presso il Politecnico di Torino, ha suggerito che potrebbe trattarsi di un altro strumento utile agli architetti: un goniometro.

Secondo questa studiosa, la chiave d'interpretazione sta nei numeri presenti nella decorazione dell'oggetto, che assomiglia a una rosa dei venti con 16 petali equidistanti e circondata da un segno circolare a zig-zag con 36 angoli.

La prima calcolatrice

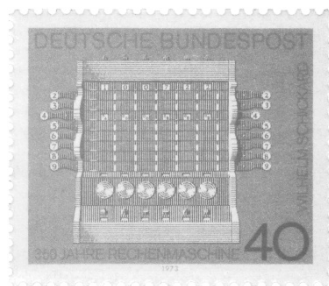
Wilhelm Schickard (1592 – 1635) sviluppò, nell'anno 1623 a **Tubinga**, quella che è considerata la prima calcolatrice della storia e che fu definita: l'**orologio calcolatore**.

La *prima calcolatrice del mondo* permetteva di eseguire le quattro operazioni aritmetiche di base; la somma e la sottrazione si realizzavano nel modo del tutto automatico, ma la moltiplicazione e la divisione esigevano, necessariamente, l'intervento dell'operatore, per alcuni passaggi intermedi.

La macchina operava mediante elementi simili agli **ossi di Napier** [vedi **Gli ossi di Napier** nella dispensa «*Antiche*» metodiche matematiche dello stesso Autore], e realizzava il riporto in modo meccanico, mediante una serie di ruote dentate che incrementavano il contatore delle decine quando si realizzava un giro delle unità.

La calcolatrice di W. **Schickard** non fu particolarmente importante, nella storia della computazione, poiché il suo sfortunato inventore morì stroncato da una delle tante piaghe che si abbatterono sull'Europa in quell'epoca; la macchina andò smarrita e non si ritrovò fino al **XX** secolo.

A sinistra, la fotografia del francobollo commemorativo tedesco dedicato all'**orologio calcolatore**.



Il primo calcolatore, o quasi

Il **Mark I**, può essere considerato il primo calcolatore elettronico moderno; fu progettato dal matematico statunitense **Howard Hathaway Aiken** (1900 - 1973) con i contributi essenziali di: **B. M. Durfee, F. E. Hamilton, C. D. Lake**.



Le sue dimensioni erano straordinarie: circa quindici metri (15 m) di lunghezza per circa due metri e mezzo (2,5 m) di larghezza; erano inoltre collegati, disposti ortogonalmente al resto della macchina, altri due pannelli, posti nella parte posteriore, lunghi circa due metri (2 m) ciascuno.

Per una divisione potevano essere necessari anche 16 secondi, mentre per una moltiplicazione erano sufficienti soltanto 6 secondi.

Il calcolo del $\sin(x)$ richiedeva 60 secondi, un minuto, mentre il calcolo di un logaritmo 68 secondi.

Il costo complessivo si è aggirato sui 500 000 \$, ma teniamo conto che siamo nel 1944.

La prima programmatrice

La matematica inglese **Augusta Ada Byron** (1815 – 1852), meglio nota come **Ada Lovelace** per aver sposato **William King** Conte di Lovelace, è conosciuta soprattutto per aver lavorato alla macchina analitica ideata da **Charles Babbage** (1791 – 1871).

Tra i suoi appunti sulla macchina di Babbage si rintraccia anche quello che è considerato come il primo algoritmo espressamente inteso per essere elaborato da una macchina, tanto che **Ada Lovelace** è spesso ricordata come la prima programmatrice di computer al mondo.

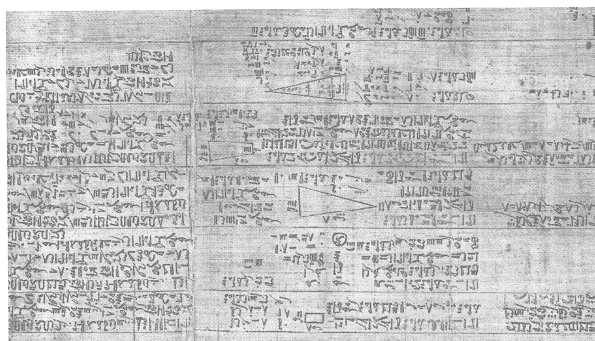
Il primo testo matematico

Per poter progettare un monumento delle dimensioni della **Grande Piramide di Cheope**, agli egizi sono sicuramente servite avanzate conoscenze matematiche.

Un'idea delle loro competenze su argomenti *geometrici-matematici* ci perviene dal papiro Rhind, acquistato a Luxor dall'antiquario-egittologo scozzese **Alexander Henry Rhind** (1833 – 1863) nel 1858 durante il regno di A-phophis.

Il papiro Rhind, raccoglie 87 problemi e di aritmetica e di geometria e di algebra è costituisce il più antico libro di testo di matematica giunto praticamente intatto fino ai nostri giorni.

Risale al 1650 aC ed è stato attribuito ad uno scriba chiamato **Ahmose**, ma noto in occidente come **Ahmes**, che però lo trasse da un documento anteriore risalente ad un periodo compreso fra il 2000 aC ed il 1800 aC.



L'archimetro

L'**archimetro**, nome coniato dall'inventore, l'architetto italiano **Giovanni Battista Aleotti** (1546 – 1636), per indicarne la principale funzione di misuratore e di archi e angoli.

Nel trattato sull'*Hidrologia, ovvero ragionamento della scienza et dell'arte dell'acque* l'Aleotti scrisse: «*un instromento Geometrico inventato da noi molti anni sono, perché con questo solo si possan havere tutte le operationi al bisogno et uso loro necessarie et lo habbiam nominato ARCHIMETRO, perché tra tutti gli altri instromenti geometrici lo habbiamo ritrovato tale che questo nome non gli disdice . . .*».

L'archimetro consiste in una squadra zoppa con i bracci graduati, una bussola nello snodo e un terzo braccio trasversale scorrevole sui primi due. Articolando i tre bracci è possibile costruire un triangolo simile a quello formato dai raggi visivi che guardano due luoghi in lontananza.

Il braccio trasversale risulta così proporzionale alla distanza tra i due luoghi, mentre gli altri due risultano proporzionali alle distanze dei luoghi dall'osservatore; basta conoscere



una sola delle tre grandezze lineari in questione per dedurre, usando la scala graduata sullo strumento, la misura delle altre due.

La bussola permette, inoltre, di effettuare veri e propri rilievi topografici che possono essere restituiti in disegno nel momento stesso in cui vengono effettuati.

Ai nostri giorni, si indica col termine **archimetro** uno strumento di grande precisione che consente di misurare direttamente i raggi di curvatura di diversi profili sia concavi sia convessi; è possibile misurare sia il raggio interno che quello esterno, scegliendo comodamente l'unità di misura che più aggrada tra pollici e millimetri.

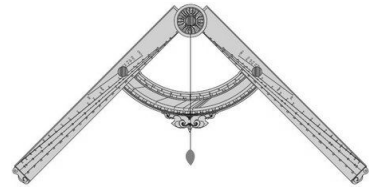


Il compasso geometrico e militare

Il **compasso geometrico e militare** fu progettato dallo scienziato italiano (pisano) **Galileo Galilei** (1564 – 1642) a Padova nel 1597 e fu realizzato dall'artigiano italiano **Marcantonio Mazzoleni** (? – 1632).

Galileo descrisse lo strumento ed il suo funzionamento nel trattato **Le operazioni del compasso geometrico et militare** che, pubblicato a Padova nel 1606 in sessanta copie, fu venduto assieme a un esemplare del compasso stesso.

Questo strumento di calcolo consentiva di effettuare velocemente più di quaranta tipi diversi di complesse operazioni geometriche e aritmetiche, basandosi sul meccanismo delle proporzioni, e di trovare soluzioni a vari problemi legati a esigenze civili e militari; si poteva calcolare, per esempio, la balistica dei tiri d'artiglieria o ridisegnare una mappa in scala diversa, o ancora compiere operazioni di cambio.



Altri compassi di proporzione

Alcuni calunniatori di Galileo cercarono di attribuire il merito dell'invenzione del **compasso di proporzione** al matematico olandese **Michel Coignet** (1549 – 1623).

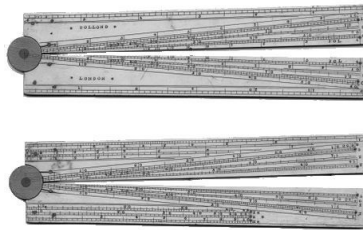
Già nel 1607, uno degli allievi di Galileo tentò di accreditarsi l'invenzione dello strumento negli ambienti più colti, pubblicando un trattato in latino sulle sue possibili operazioni.

Successivamente, molte furono le varianti del compasso di proporzione di Galileo, ottenute o apportando modifiche o aggiungendo ulteriori scale proporzionali che ne estesero i campi di applicazione; varianti a cui furono attribuiti nomi differenti.

A destra alcuni esempi.

Michel Coignet lo chiamò **compasso pantometro**, l'ingegnere e matematico e gnomonista italiano **Muzio Oddi** (1569 – 1639) lo chiamò **compasso polimetro**, l'architetto italiano **Ottavio Revese Bruti** (1585 – 1648) lo chiamò archi sesto (nome coniato dall'inventore componendo le parole «architettura» e «sesto - compasso», ossia *compasso architettonico*).

Alcuni matematici francesi, aggiunsero delle funzioni per i disegni in prospettiva e lo chiamarono **compasso di prospettiva**.



Indice analitico

Paragrafi	pagina
<i>Prefazione</i>	02
<i>«Antichi» strumenti e topografici e geodetici</i>	
<i>La misura delle distanze</i>	
L'Odometro	03
Il Telemetro	03
La lychnia	04
<i>La misura delle lunghezze</i>	
La catena metrica	05
Il triplometro	05
La scala grafica semplice	05
La scala ticonica	05
<i>La misura delle aree</i>	
Le reticole	07
La Reticola di «Bamberg»	07
La Reticola di «Barthelemy»	07
La squadretta iperbolica di «Beauvais»	07
I Planimetri	08
Il planimetro polare di Amsler	08
<i>Polo esterno</i>	09
<i>Polo interno</i>	09
Il Planimetro polare della «Filotecnica Salmoiraghi»	09
Il Planimetro a scure	09
Il Planimetro di Nestler	10
<i>La misura delle pendenze</i>	
Le scale clivometriche	11
La scala clivometrica rettilinea	11
La scala clivometrica curvilinea	12
Lo Scarpometro	12
<i>Strumenti per ottenere e l'orizzontalità e la verticalità</i>	
L'Archipendolo	13
Il Chorobates	13
Il livello a tubo comunicante	13
Il livello a tubo flessibile	13
Le livelle a bolla	14
La livella sferica	14
La livella torica	14
Il perpendiculum	15
<i>Strumenti allineatori</i>	
Gli allineamenti	16
Il croma	16

L'allineatore	16
La diottra	16
Lo squadra agrimensorio	16
Lo squadra a prisma-squadro di Wollaston	17
Lo squadra graduato	17

*Strumenti per la misura degli
angoli azimutali (orizzontali)*

Il goniometro	18
La bussola topografica	18
La bussola da miniera	18

*Strumenti per la misura degli
angoli zenitali (verticali)*

L'arbalestro	19
Il quadrato geometrico	19
Il quarto di cerchio	19
L'ottante	20
Il sestante	20
L'eclimetro a sospensione	20
Il quarto inglese	21
La bussola di inclinazione	21

Tecniche di riduzione dei disegni

La riduzione	22
Riduzione col compasso di riduzione	22
Riduzione col metodo dell'irraggiamento	22
Riduzione col pantografo	22

*Strumenti per la
celerimensura*

I goniografi	23
La tavoletta pretoriana	23
Il grafometro	23
La tavoletta Monticolo	23
Il cleps e il tacheometro	24
Il nonio	24
Le stadie	25
^w Il metodo a stadia orizzontale	25
Il reticolo distanziometrico	26
Il teodolite	26
Il livello dell'alpinista	26
Il livello a cannocchiale	27

*Strumenti per la
cartografia*

**Scale graduate per la lettura
delle coordinate geografiche di punti grafici delle carte I.G.M.**

Premessa	28
Procedimento	28

Coordinatometro	29
<i>Strumenti vari</i>	
L'archimetro	30
Il compasso geometrico e militare	30
Altri compassi di proporzione	30
<i>Appendici</i>	
Appendice «a»	33
Una mappa egizia	33
Le precisissime misurazioni antiche	33
Unità di misura (antico Egitto)	33
Lunghezza	33
Superficie	34
Il merkhet	34
Dov'è Monte Mario?	34
La macchina di Anticitera	35
L'astrolabio	35
La tabula Peutingeriana	35
Unità di misura (romano antico)	36
Lunghezza	36
Superficie	36
Volumi	37
Pesi	37
Il più antico goniometro, forse	38
La prima calcolatrice	38
Il primo calcolatore, o quasi	39
La prima programmatrice	39
Il primo testo matematico	39
L'archimetro	39
Il compasso geometrico e militare	40
Altri compassi di proporzione	40
Indice analitico	41
Bibliografia essenziale	44

Bibliografia essenziale

- [R. 01] D. R. Green – J. Lawis 1980
Le scienze con il calcolatore tascabile
franco muzzio & c. editore Padova
- [R. 02] M. R. Williams 1989
Storia dei computer
franco muzzio editore Padova
- [R. 03] V. Torra 2011
Dal pallottoliere alla rivoluzione digitale
Mondo matematico
Rodesa Villatuerta Navarra
- [R. 04] A. Beutelspacher 2007
Matematica da tasca
Adriano Salami Editore Varese
- [R. 05] A. Beutelspacher 2008
Le meraviglie della matematica
Adriano Salami Editore Varese
- [R. 06] L. Brasca – E. Levi 1966
Tavole per calcoli di topografia ed estimo
Istituto Grafico Litostampa Bergamo
- [R. 07] A. Agostini 1957
Topografia – Planimetria e Agrimensura
Editore Ulrico Hoepli Milano
- [R. 08] A. Agostini 1957
Topografia – Altimetria, metodi completi di rilevamento e applicazioni di topografia
Editore Ulrico Hoepli Milano
- [R. 09] C. Cavicchi 1925
Elementi di Cartografia – Fascicolo 1° - Fascicolo 2°
Istituto Geografico Milire Firenze
- [R. 10] Manuali Cremonese 1964
Manuale del costruttore civile e del geometra
Edizioni Cremonese Roma
- [R. 11] E. Maddalena 2010
Orienteering
Editore Ulrico Hoepli Milano
- [R. 12] C. Bonfigli – L. Solaini 1967
Disegno topografico ed esercitazioni
Felice de Monnier Firenze
- [R. 13] R. Ibáñez 2010
Il sogno della mappa perfetta
Mondo matematico
Rodesa Villatuerta Navarra